

Справочная книга радиолюбителя-конструктора

Книга 2

Издательство «Радио и связь»



Основана в 1947 году
Выпуск 1195

Справочная книга радиолюбителя-конструктора

КНИГА 2

Под редакцией
Н. И. Чистякова



Москва
«Радио и связь»
1993

ББК 32.84
С74
УДК 621.396.6:~~001.92(035)~~

Федеральная целевая программа книгоиздания России

АВТОРЫ Р Г ВАРЛАМОВ, Г Л ВЕРЕСОВ, В Я ЗАМЯТИН, Л М КАПЧИНСКИЙ, Б Н ЛОЗИЦКИЙ, Н С МАМАЕВ, В И ПРИСНЯКОВ, В А ТЕРЕХОВ, Р К ТОМАС, Н И ЧЕТВЕРТКОВ

С74 **Справочная книга радиолюбителя-конструктора:** В 2-х книгах. Кн. 2 / Р. Г. Варламов, В. Я. Замятин, Л. М. Капчинский и др.; Под ред. Н. И. Чистякова.— 2-е изд., исправ. и доп.— М.: Радио и связь, 1993.— 336 л.: ил.— (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1196).
ISBN 5-256-001159-6.

Приведены справочные данные по электровакуумным и полупроводниковым приборам, интегральным микросхемам и другим радиодеталям, используемым радиолюбителями в своих конструкциях. Даны рекомендации по выбору схем, конструированию измерительных приборов и антенн. Материал настоящего издания (первое издание 1990 г.) исправлен и дополнен разделом «Прием спутникового телевидения».
Для подготовленных радиолюбителей.

С $\frac{2302020000-099}{046(01)-93}$ 16-93 ББК 32.84

ISBN 5-256-01159-6

ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В СПРАВОЧНИКЕ

Графические условные обозначения электрических проводов, кабелей, экранов, коммутационных устройств, резисторов и конденсаторов

Провода, кабели, экраны

Провод электрический

Ответвление от провода, соединение проводов

Провода пересекаются без электрического контакта между ними

Электрическая цепь продолжается за пределами схемы

Стрелка на проводе указывает направление распространения сигнала

Экранированный провод

или

Частично экранированный провод

Коаксиальный кабель

Соединение с корпусом прибора

Соединение с землей

Экран элемента или группы элементов

5

Коммутационные устройства

Контакт коммутационного устройства (выключателя, электрического реле) замыкающий, общее обозначение Выключатель однополюсный

То же, для коммутации сильноточной цепи

То же, с механической связью с другим элементом

Контакт коммутационного устройства размыкающий, общее обозначение

Контакт коммутационного устройства размыкающий с механической связью с другим элементом

Контакт коммутационного устройства переключающий, общее обозначение Однополюсный переключатель на два направления

Контакт коммутационного устройства переключающий без размыкания цепи

Переключатель однополюсный трехпозиционный с нейтральным положением

То же, с самовозвратом в нейтральное положение

Выключатель кнопочный однополюсный нажимной с замыкающим контактом, с самовозвратом

Выключатель кнопочный однополюсный нажимной с размыкающим контактом

Переключатель кнопочный однополюсный нажимной с возвратом вторичным нажатием кнопки

Переключатель кнопочный однополюсный нажимной с возвратом посредством отдельного привода, например нажатием специальной кнопки (сброс)

Переключатель однополюсный шестипозиционный, общее обозначение

Переключатель однополюсный многопозиционный, например трехпозиционный переключатель диапазонов радиоприемника; часть многополюсного многопозиционного переключателя

То же, с безобрывным переключением

Переключатель двухполюсный трехпозиционный со средним положением

Переключатель двухполюсный трехпозиционный с самовозвратом в среднее положение

Выключатель многополюсный, например трехполюсный

Переключатель многополюсный двухпозиционный, например трехполюсный

Переключатель многополюсный независимых цепей, например четырех

Контакт «неразборного» соединения, например осуществленного пайкой

Контакт «разборного» соединения, например с помощью зажима

Колодка зажимов с разборными контактами, например с четырьмя зажимами

Разъемное однополюсное соединение

Штырь разъемного соединения

Гнездо разъемного соединения

Штыревая часть коаксиального разъема

Гнездовая часть коаксиального разъема

Штыревая часть многопроводного разъема, например четырехпроводного

Гнездовая часть многопроводного разъема, например четырехпроводного

Перемычка коммутационная, размыкающая цепь

Перемычка коммутационная, переключающая

Вставка - переключатель (четыре варианта соединения четырех цепей)

Обмотка электрического реле, контактора, общее обозначение

Обмотки двухобмоточного электрического реле

Реле электромагнитное, например, с замыкающим и размыкающим контактами (контакты реле могут быть расположены на схеме в удалении от обмотки)

Реле электромагнитное поляризованное на два направления тока в обмотке, с нейтральным положением (контакт, обозначенный точкой (черточкой), замыкается при приложении положительного полюса напряжения к выводу обмотки, обозначенному точкой (черточкой))

Реле электромагнитное поляризованное на одно направление тока в обмотке, без самовозврата

Реле тепловое, например, с замыкающим контактом

Гнездо штепсельное телефонное, двухпроводное

Штепсель телефонный, двухпроводный

Резисторы постоянные

Общее обозначение

С отводами — или

С номинальной мощностью рассеяния 0,05 Вт

То же, 0,125 Вт

То же, 0,25 Вт

То же, 0,5 Вт

То же, 1 Вт

То же, 2 Вт

То же, 5 Вт

То же, 10 Вт

Варистор

Терморезистор прямого нагрева

Терморезистор прямого подогрева

Фоторезистор, общее обозначение

Резисторы переменные и подстроечные

Переменный резистор, реостат, общее обозначение — или

Переменный резистор, используемый в качестве потенциометра

Переменный резистор с отводами

Переменный резистор с замыкающим контактом, изображенным совмещенно с ним — или

Переменный резистор с замыкающим контактом, изображенным разнесенно от него — или

Переменный резистор сдвоенный — или

Подстроечный реостат

Подстроечный резистор-потенциометр

Дополнительные значки у обозначений переменных и подстроечных резисторов

Регулирование ручкой, выведенной наружу

Регулирование инструментом, элемент регулирования выведен наружу устройства

Регулирование инструментом, элемент регулирования внутри устройства

Ступенчатое регулирование

Конденсаторы

Постоянной емкости; общее обозначение

Постоянной емкости поляризованный

Оксидный поляризованный; общее обозначение

Оксидный неполяризованный

Постоянной емкости, двухсекционный

Проходной (дуга обозначает корпус, внешний электрод)

Опорный

Переменной емкости (дуга или точка обозначает ротор)

Многосекционный, например двухсекционный, переменной емкости (блок КПЕ, конденсаторы, входящие в блок, могут быть разнесены по схеме)

Переменной емкости, дифференциальный

Подстроечный; общее обозначение

Подстроечный, регулирование инструментом, ось выведена наружу

Подстроечный, регулирование инструментом, ось внутри устройства

Вариконд

Примечания. 1. Число, стоящее около графического обозначения резистора, указывает его номинальное сопротивление. Если после числа нет обозначения единицы — сопротивление выражено в омах. Если после числа стоит буква к или М — сопротивление выражено в килоомах или мегаомах. Примеры: 4, 7 следует читать 4,7 Ом; 150 — 150 Ом; 150 к — 150 кОм; 4,7 М — 4,7 МОм.

2. Число около графического обозначения конденсатора указывает его номинальную емкость. Если обозначение после целого числа отсутствует или после числа с дробью имеются буквы пФ, емкость выражена в пикофарадах, если после числа имеются буквы мк, емкость выражена в микрофарадах. Примеры: 10 — следует читать 10 пФ; 0,1 мк — 0,1 мкФ.

У обозначения оксидного конденсатора дополнительно указывают его номинальное напряжение в вольтах.

3. Если около конденсатора переменной емкости или подстроечного конденсатора одно число, это его максимальная емкость; если же стоят два числа, разделенные знаком «...», первое из них указывает минимальную, а второе максимальную емкость в пикофарадах.

4. Емкость конденсатора (или сопротивление резистора), около обозначения которого стоит звездочка, является ориентировочной и должна быть подобрана при налаживании аппаратуры.

Условные графические изображения полупроводниковых приборов

Полупроводниковые диоды

Диод выпрямительный

Диод туннельный

Диод обращенный

Стабилитрон; опорный диод

Стабилитрон с двусторонней проводимостью

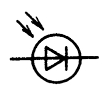
Варикап (варактор)

Варикапная сборка

Светодиод

Оптопара диодная

Фотодиод



Двунаправленный диод



Выпрямительный одиофазный диодный мост (схема Герца)

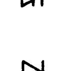
Тиристоры



Диодный, запираемый в обратном направлении

Диодный симметричный

Триодный, запираемый в обратном направлении: с управлением по аноду



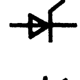
То же, с управлением по катоду



Триодный (тринистор), запираемый в обратном направлении, выключаемый, с управлением по аноду



То же, с управлением по катоду



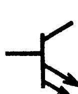
Триодный симметричный, незапираемый (симистор)

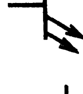


Транзисторы

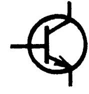
Бескорпусной структуры n-p-n (например, в микросхеме): б — база; к — коллектор; э — эмиттер

Бескорпусной структуры n-p-n с несколькими эмиттерами (например, в микросхеме)

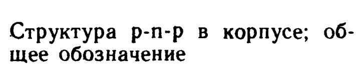




Структуры n-p-n в корпусе; общее обозначение



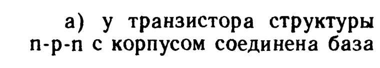
Структура p-n-p в корпусе; общее обозначение



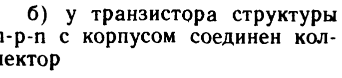


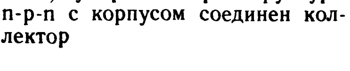
Электрическое соединение одного из электродов с корпусом обозначается точкой, например:

а) у транзистора структуры n-p-n с корпусом соединена база

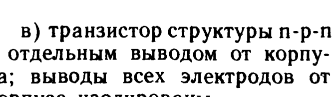


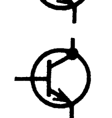
б) у транзистора структуры n-p-n с корпусом соединен коллектор

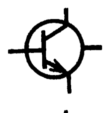




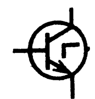
в) транзистор структуры n-p-n с отдельным выводом от корпуса; выводы всех электродов от корпуса изолированы



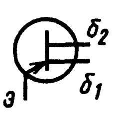




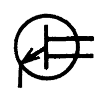
Лавинный, например структуры n-p-n



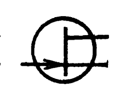
Однопереходный с базой n-типа: $б_1$, $б_2$ — выводы базы, э — вывод эмиттера



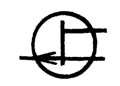
Однопереходный с базой p-типа



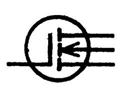
Полевой с p-n переходом и n-каналом: з — затвор; и — исток; с — сток



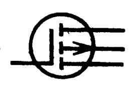
Полевой с p-n переходом и p-каналом



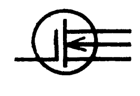
Полевой структуры МОП с n-каналом, работающим в режиме обогащения: з — затвор; и — исток, с — сток; п — подложка



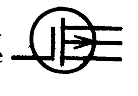
Полевой структуры МОП с p-каналом, работающим в режиме обогащения



Полевой структуры МОП с n-каналом, работающим в режиме обеднения



Полевой структуры МОП с p-каналом, работающим в режиме обеднения

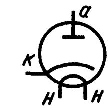


Полевой структуры МОП с двумя затворами, например с p-каналом, работающим в режиме обеднения

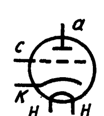


Обозначения электровакуумных электронных и ионных приборов

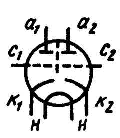
Диод косвенного накала подогревный: к — катод; н — подогреватель; а — анод



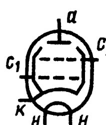
Триод с катодом косвенного накала, подогревный: а — анод; с — сетка; к — катод; н — нагреватель



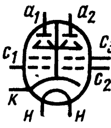
Триод двойной косвенного накала с экраном между триодами: $а_1$, $а_2$ — аноды; $с_1$, $с_2$ — сетки; $к_1$, $к_2$ · катоды



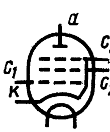
Тетрод лучевой косвенного накала: а — анод; $с_1$ — управляющая сетка; $с_2$ — экранирующая сетка



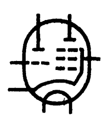
Двойной лучевой тетрод косвенного накала (генераторный)



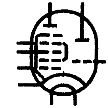
Пентоды косвенного накала (подогревные): а — анод; $с_1$ — управляющая сетка; $с_2$ — экранирующая сетка; $с_3$ — защитная сетка



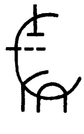
Триод-пентод косвенного накала



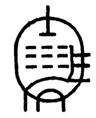
Триод-гептод косвенного накала



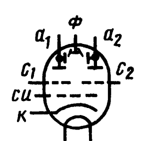
Один триод двойного триода, триодная часть триод-пентода или триод-гептода, или двойного диода-триода



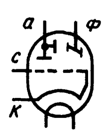
Пентодная часть триод-пентода

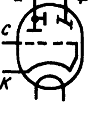
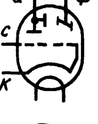


Индикатор электронно-световой: $а_1$, $а_2$ — аноды первого и второго триодов; си — сетка индикатора



Индикатор электронно-световой с двойным управлением: а — анод; ф — флуоресцирующий анод; с — сетка управляющая; к — катод



Барретер (стабилизатор тока)

Электрические лампы накаливания

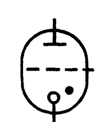


Лампа тлеющего разряда

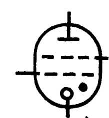


Стабилизатор газоразрядный

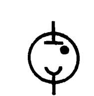
Тиратрон с холодным катодом, триодный



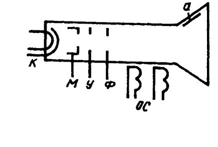
Тиратрон с холодным катодом, тетродный



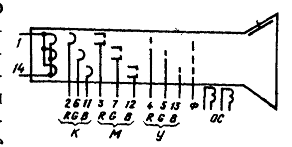
Фотоэлемент ионный

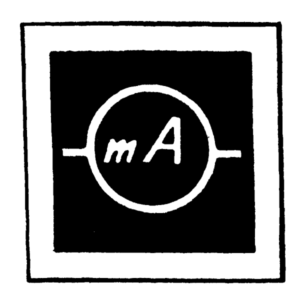


Кинескоп для черно-белого телевизора с электростатической фокусировкой и электромагнитным отклонением луча: к — катод; м — модулятор (управляющий электрод); ф — фокусирующий электрод; у — ускоряющий электрод; а — основной электрод



Кинескоп для цветного телевизора с электростатической фокусировкой и электромагнитным отклонением луча: R, G, B — электроды, обеспечивающие красное, зеленое и синее свечение экрана





ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

РАЗДЕЛ 1

Содержание

1.1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Метрологическая терминология

Знание метрологической терминологии, параметров измеряемых сигналов и принятой в нашей стране системы единиц измерения физических величин помогает успешно выполнять измерения и изучать литературу, посвященную измерениям физических величин и измерительным приборам.

Измерение — нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Прямое измерение — измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных.

Косвенное измерение — измерение, при ко-

тором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

Средство измерений — техническое средство, используемое при измерении и имеющее нормированные метрологические свойства.

Измерительный прибор — средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации (т. е. сигнала, содержащего количественную информацию об измеряемой физической величине) в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Эталон единицы — это средство измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающее воспроизводство и (или) хранение единицы физической величины с целью передачи ее размера образцовым и рабочим средствам измерений.

Образцовое средство измерений — мера, измерительный прибор или измерительный преобразователь, служащие для поверки по ним других средств измерений и утвержденные в качестве образцовых.

Рабочее средство измерений — средство, применяемое для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

Результат измерения — значение величины, найденное ее измерением. Результат находят по показаниям средств измерений, использованных при измерении.

Показание средства измерений — это значение измеряемой величины, определяемое по отсчетному устройству средства измерений и выраженное в принятых единицах этой величины.

Отсчетом называется число, отсчитанное по отсчетному устройству средства измерений либо полученное счетом последовательных отметок или сигналов.

Для нахождения показания $X_п$ отсчет N неименованной шкалы нужно умножить на цену деления шкалы k ($X_п = Nk$). Множитель k, имеет размерность, например, В/деление, Гц/деление и т. д.

Объекты исследований и измерений

Объекты исследований (предметы, устройства и другие материальные тела) характеризуются различными значениями физических величин, неразрывно связанных с объектом.

Объектами электрорадиоизмерений являются значения физических величин, параметры и характеристики сигналов электрорадиоцепей, компонентов и режимов этих цепей.

Например, объект исследования — резистор, объекты измерений — сопротивление резистора постоянному току и мощность рассеивания резистора.

Параметры измеряемых сигналов

Мгновенное значение сигнала x(t) — значение сигнала в заданный момент времени (рис. 1.1).

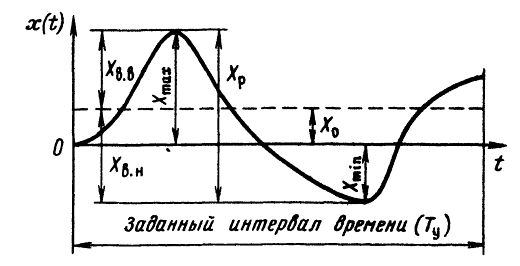


Рис. 1.1

Максимальное значение сигнала X_{max} — наибольшее мгновенное значение сигнала на протяжении заданного интервала времени. Для периодических сигналов термин «максимальное значение сигнала» часто заменяют термином «амплитуда» (X_m).

Минимальное значение сигнала X_{min} — наименьшее мгновенное значение сигнала на протяжении заданного интервала времени.

Постоянная составляющая сигнала X_0 — среднее значение сигнала:

$$X_0 = \lim_{T_у \to \infty} \frac{1}{T_у} \int_0^{T_у} x(t)\,dt,$$

где $T_у$ — время усреднения.

Для периодического сигнала с периодом T постоянная составляющая сигнала

$$X_0 = \frac{1}{T} \int_0^{T} x(t)\,dt.$$

Средневыпрямленное значение **сигнала $X_{с\,в}$ — среднее значение модуля (абсолютной величины) сигнала.** Для периодических сигналов средневыпрямленное значение

$$X_{с\,в} = \frac{1}{T} \int_0^{T} |x(t)|\,dt.$$

Для сигналов однополярных $|X_0| = X_{с\,в}$.

Среднеквадратическое значение сигнала $X_{с\,к}$ — корень квадратный из среднего значения квадрата сигнала. Для периодического сигнала

$$X_{с\,к} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T} x^2(t)\,dt},$$

или, если известны постоянная составляющая X_0 и амплитуды гармоник $X_{m\,i}$,

$$X_{с\,к} = \sqrt{X_0^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} X_{m\,i}^2}.$$

Переменная составляющая сигнала — разность между сигналом и его постоянной составляющей:

$$x_{\sim}(t) = x(t) - X_0.$$

Пиковое отклонение «вверх» $X_{в\ в}$ — наибольшее мгновенное значение переменной составляющей сигнала на протяжении заданного интервала времени.

Пиковое отклонение «вниз» $X_{в\ н}$ — наименьшее мгновенное значение переменной составляющей сигнала на протяжении заданного интервала времени, взятое по модулю

Размах сигнала $X_р$ — разность между максимальным и минимальным значениями сигнала на протяжении заданного интервала времени:

$$X_р = X_{max} - X_{min} = X_{в\ в} + X_{в\ н}.$$

Если конкретный сигнал является напряжением или током, то в приведенных терминах и формулах символы x и X нужно заменить на соответствующие сигналы напряжения (u, U) или тока (i, I). Например, мгновенное значение напряжения обозначается символами u (t), максимальное значение тока I_m и т. п.

Для периодических сигналов связь между их амплитудой X_m, среднеквадратическим значением $X_{с\ к}$ и средневыпрямленным значением $X_{с\ в}$ устанавливается через коэффициент амплитуды $k_а = X_m/X_{с\ к}$ и коэффициент формы $k_ф = X_{с\ к}/X_{с\ в}$. Для синусоидальных по форме сигналов $k_а = \sqrt{2} \approx 1{,}41$ и $k_ф = 1{,}11$. Знание одного из значений сигнала, коэффициентов амплитуды и формы позволяет найти и другие его значения Например, для синусоидального напряжения при амплитуде $U_m = 100$ В имеем $U_{с\ к} = U_m/k_а = U_m/\sqrt{2} \approx U_m \cdot 0{,}71 = 71$ В и $U_{с\ в} = U_m/(k_а k_ф) = U_m/(\sqrt{2} \cdot 1{,}11) \approx U_m \cdot 0{,}71 \cdot 0{,}9 \approx 64$ В.

Единицы измеряемых физических величин

В России подлежат обязательному применению единицы Международной системы единиц (сокращенное наименование СИ), а также десятичные кратные и дольные от них.

Основные и дополнительные единицы СИ приведены в табл. 1.1. Некоторые из производных единиц СИ, имеющих специальные наименования, даны в табл. 1.2. Наравне с единицами СИ допускается применение некоторых величин и их единиц, не входящих в систему СИ (табл. 1.3).

Десятичные кратные и дольные единицы образуются от единиц, приведенных в табл. 1.1—1.3, с помощью множителей и приставок, приведенных в табл. 1.4 Обозначение приставки пишут слитно с обозначением единиц измерения, к которым они присоединяются. Например, миллиампер — мА, киловольт — кВ и т. п.

Присоединение к наименованию единицы более одной приставки не допускается. Для образования дольных единиц массы вместо основной единицы «килограмм» используется дольная единица «грамм» (0,001 кг). Например, миллиграмм [мг], а не микрокилограмм [мккг].

Обозначение единиц, наименованных в честь ученых, пишется прописной буквой независимо от наличия приставок. Например, МОм (мегаом), ГГц (гигагерц) и т. п

Таблица 1.1. **Основные и дополнительные единицы СИ**

Единица	Величина	Размерность	Наименование	Обозначение: международное	Обозначение: русское
Основная	Длина	L	метр	m	м
	Масса	M	килограмм	kg	кг
	Время	T	секунда	s	с
	Сила электрического тока	I	ампер	A	А
	Термодинамическая температура	θ	кельвин	K	К
	Количество вещества	N	моль	mol	моль
	Сила света	J	кандела	cd	кд
Дополнительная	Плоский угол	—	радиан	rad	рад
	Телесный угол	—	стерадиан	sr	ср

Таблица 1.2. **Производные единицы СИ, имеющие специальные наименования**

Величина	Наименование	Обозначение: международное	Обозначение: русское
Частота	герц	Hz	Гц
Сила, вес	ньютон	N	Н
Давление, механическое напряжение, модуль упругости	паскаль	Pa	Па
Энергия, работа, количество теплоты	джоуль	J	Дж
Мощность, поток энергии	ватт	W	Вт
Количество электричества (электрический заряд)	кулон	C	Кл
Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	вольт	V	В
Электрическая емкость	фарад	F	Ф
Электрическое сопротивление	ом	Ω	Ом
Электрическая проводимость	сименс	S	См
Поток магнитной индукции, магнитный поток	вебер	Wb	Вб
Плотность магнитного потока, магнитная индукция	тесла	T	Тл
Индуктивность, взаимная индуктивность	генри	H	Гн
Световой поток	люмен	lm	лм
Освещенность	люкс	lx	лк

Таблица 1.3. **Внесистемные единицы, допустимые к применению**

Величина	Наименование	Обозначение		Соотношение с единицами СИ
		международное	русское	
Масса	тонна	t	т	10^3 кг
Время	минута	min	мин	60 с
	час	h	ч	3600 с
—	сутки	d	сут	86 400 с
Плоский угол	град	g (доп)	град	$\pi/180$ рад
Энергия	электрон-вольт	eV	эВ	$\approx 1{,}60219 \cdot 10^{-19}$ Дж
Полная мощность	вольт-ампер	V·A	В·А	—
Реактивная мощность	вар	var	вар	—

Таблица 1.4. **Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований**

Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское
10^{18}	экса	E	Э
10^{15}	пета	P	П
10^{12}	тера	T	Т
10^{9}	гига	G	Г
10^{6}	мега	M	М
10^{3}	кило	k	к
10^{2}	гекто	h	г
10^{1}	дека	da	да
10^{-1}	деци	d	д
10^{-2}	санти	c	с
10^{-3}	милли	m	м
10^{-6}	микро	μ	мк
10^{-9}	нано	n	н
10^{-12}	пико	p	п
10^{-15}	фемто	f	ф
10^{-16}	атто	a	а

В печатных изданиях допускается применение либо международных, либо русских обозначений единиц измерений и приставок. Одновременное же применение и тех, и других не допускается. Для указания значений величин на шкалах и щитках средств измерений используются лишь международные обозначения единиц и приставок.

Погрешности измерений и измерительных приборов

Отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины является погрешностью измерения.

Абсолютная погрешность измерения Δ — погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины: $\Delta = X - X_и$, где X — результат измерения; $X_и$ — истинное значение измеряемой величины.

Относительная погрешность измерения δ — отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины: $\delta = \Delta/X_и \approx \Delta/X$.

Истинное значение величины — точное (без погрешности) значение величины. На практике при определении погрешностей измерений и измерительных приборов вместо истинного значения величины используют (известное) действительное значение величины, за которое принимается значение величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

Погрешности измерений зависят от погрешностей средств измерений.

Абсолютная погрешность измерительного прибора $\Delta_п$ — разность между показанием прибора $X_п$ и истинным (или действительным $X_д$) значением измеряемой величины:

$$\Delta_п = X_п - X_и \approx X_п - X_д.$$

Относительная погрешность измерительного прибора

$$\delta_п = \Delta_п/X_и \approx \Delta_п/X_д \approx \Delta_п/X_п.$$

Приведенная погрешность измерительного прибора

$$\gamma = \Delta_п/X_N,$$

где X_N — нормирующее значение, устанавливаемое в стандартах или технических условиях на отдельные типы измерительных приборов. Так, нормирующее значение для средств измерений с равномерной, практически равномерной или степенной шкалой, если нулевая отметка шкалы находится на краю или вне диапазона измерений, должно быть равным большему из пределов измерений, если нулевая отметка лежит внутри диапазона измерений. Для электроизмерительных приборов с равномерной, практически равномерной или степенной шкалой и нулевой отметкой внутри диапазона измерений нормирующее значение допускается устанавливать равным сумме модулей пределов измерений. Для измерительных приборов с существенно неравномерной шкалой нормирующее значение устанавливают равным всей длине шкалы или ее части $L_ш$, соответствующей диапазону измерений (в этом случае допускаемый предел абсолютной погрешности выражают, как и длину шкалы, в единицах длины).

Относительную и приведенную погрешности часто выражают в процентах. С этой целью в формулы вводят множитель «100 %».

Равномерная шкала — шкала с делениями постоянной длины и с постоянной ценой деления.

Деление шкалы — промежуток между двумя соседними отметками шкалы.

Цена деления шкалы — разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.

Практически равномерная шкала — шкала, длины делений которой отличаются друг от друга не более чем на 30 %, и имеющая постоянную цену делений.

Существенно неравномерная шкала — шкала с сужающимися делениями, для которой значение выходного сигнала, соответствующее полусумме верхнего и нижнего пределов диапазона изменений входного (выходного) сигнала, находится в интервале между 65 и 100 % длины шкалы, соответствующей диапазону изменений входного (выходного) сигнала.

Степенная шкала — шкала с расширяющимися или сужающимися делениями, отличная от существенно неравномерной шкалы.

Нулевая отметка шкалы — отметка шкалы, соответствующая нулевому значению измеряемой величины.

Диапазон измерений — область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности прибора.

Предел измерений — наибольшее или наименьшее значение диапазона измерений.

Классы точности приборов

Класс точности измерительного прибора — обобщенная характеристика прибора, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами прибора, влияющими на его точность.

Основная погрешность прибора — погрешность прибора, используемого в нормальных условиях. *Дополнительная погрешность прибора* возникает при его работе в условиях, отличных от нормальных.

Пределы допускаемых основных погрешностей приборов задаются в виде абсолютных, относительных и приведенных погрешностей приборов.

Предел допускаемой основной погрешности — это наибольшая (без учета знака) основная погрешность прибора, при которой он может быть признан годным и допущен к применению. Предел допускаемой основной абсолютной погрешности прибора может выражаться одним значением

$$\Delta_{п.о.пр} = \pm a \qquad (1.1)$$

или суммой двух членов

$$\Delta_{п.о.пр} = \pm (a + bX_п), \qquad (1.2)$$

где a, b — постоянные числа; $X_п$ — показания прибора.

Предел допускаемой основной абсолютной погрешности цифрового прибора может быть задан формулой $\Delta_{п.о.пр} = \pm (a, \%$ от $X_п + m)$, где m — погрешность дискретности.

Предел допускаемой основной относительной погрешности выражается формулой

$$\delta_{п.о.пр} = \frac{\Delta_{п.о.пр}}{X_п} \cdot 100 = \pm q \qquad (1.3)$$

или

$$\delta_{п.о.пр} = \frac{\Delta_{п.о.пр}}{X_п} \cdot 100 = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{X_к}{X_п} \right| - 1 \right) \right], \qquad (1.4)$$

где $X_к$ — верхний предел измерений прибора; c и d — постоянные числа, %.

Возможно также задание пределов допускаемых основных абсолютных и относительных погрешностей приборов в виде таблиц или графиков пределов допускаемых погрешностей для разных показаний приборов.

Предел допускаемой основной приведенной погрешности прибора выражается формулой

$$\gamma_{пр} = \frac{\Delta_{п.о.пр}}{X_N} \cdot 100 = \pm p, \qquad (1.5)$$

где p — положительное число, выбираемое из ряда чисел

$$(1;\ 1{,}5;\ 2;\ 2{,}5;\ 4;\ 5;\ 6) \cdot 10^n;$$
$$n = 0{,}1,\ -1,\ -2,\ \ldots \qquad (1.6)$$

Классы точности приборов условно обозначаются буквами и числами из ряда (1.6) в зависимости от способа задания предела допускаемой основной погрешности прибора. Если предел допускаемой основной погрешности прибора задан формулами (1.1), (1.2), таблицами или графиками, то класс точности прибора обозначается на шкале прибора и в его нормативно-технической документации прописной буквой латинского алфавита.

При задании предела допускаемой основной погрешности формулой (1.5), и если при этом $X_N = X_к$, класс точности прибора $К_п$ обозначают числом из ряда (1.6) (без подчеркивания уголком или помещения в кружок, например 1,0). Если же $X_N = L_ш$ ($L_ш$ — длина шкалы или ее части), то класс прибора обозначают числом из ряда (1.6) над углом, например 1,0.

При указании точности прибора с существенно неравномерной шкалой можно дополнительно указывать пределы допускаемой основной относительной погрешности для части шкалы, лежащей в пределах, отмеченных специальными знаками (например, точками или треугольниками). В этом случае погрешность прибора выражают числом со знаком %, помещаемым в кружок. Например, 10 %.

При задании предела допускаемой основной погрешности формулой (1.3) класс точности прибора обозначают числом из ряда (1.6), помещаемым в кружок. Если предел допускаемой основной погрешности задан формулой (1.4), то класс точности обозначают двумя числами из ряда (1.6) через косую черту (например, 0,01/0,02), где числитель и знаменатель соответствуют коэффициентам c и d в %.

Оценка результатов прямых измерений

Систематическая погрешность — это составляющая погрешности измерений, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одного и того же значения физической величины.

Случайная погрешность — составляющая погрешности измерений, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одного и того же значения физической величины.

Если систематическая погрешность заведомо

существенно больше случайной, то ограничиваются одним измерением и за его результат принимают показания прибора: $X = X_п$.

Если же систематическая погрешность практически исключена из результата измерений, а случайная погрешность заведомо существенно больше неисключенной систематической погрешности, то с целью оценки возможных предельных значений случайной погрешности необходимо проводить многократные равноточные наблюдения.

Равноточные наблюдения — это наблюдения (измерения) одного и того же значения физической величины одним оператором в одинаковых условиях одним и тем же средством измерений. При этом получают *результаты наблюдений*, а результат измерений определяется после статистической обработки результатов наблюдений.

Систематическая погрешность может быть исключена из результата измерения введением поправки c, получаемой после измерения того же значения физической величины образцовым прибором:

$$c = -\Delta_п = X_д - X_п,$$

где $X_д$ — действительное значение измеряемой физической величины (т. е. показание образцового прибора); $X_и \approx X_д = X_п + c$.

Если же поправку получить не удается, то за результат однократного измерения принимается показание измерительного прибора ($X = X_п$), а за погрешность измерения — предел допускаемой погрешности прибора. При этом доверительный интервал, в пределах которого с вероятностью $P = 1$ лежит истинное значение измеряемой величины, определяется через класс точности прибора (если он используется в нормальных условиях): $X_и \in [X_п - \Delta_{п\ о\ пр},\ X_п + \Delta_{п\ о\ пр}]$.

Предел допускаемой основной абсолютной погрешности $|\Delta_{п\ о\ пр}| \leqslant (K_п X_N/100)$, где $K_п$ — класс точности прибора, определяемый на основании формулы (1.5), так как $K_п \geqslant |\gamma_{пр}|$, или $|\Delta_{п\ о\ пр}| \leqslant (K_п X_п/100)$, если $K_п$ определяется по формуле (1.3), так как $K_п \geqslant |\delta_{п\ о\ пр}|$, и т п.

Статистическая обработка N результатов равноточных наблюдений с целью получения результата измерений и определения доверительного интервала включает в себя.

1) исключение известных систематических погрешностей из результатов наблюдений (т. е. исправление результатов наблюдений);

2) вычисление оценки среднего арифметического исправленных результатов наблюдений X_i по формуле

$$\tilde{X}_{ср} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} X_i$$

и принятие ее за результат измерений ($X = \tilde{X}_{ср}$);

3) вычисление оценки среднего квадратического отклонения i-го результата наблюдения от среднего $\tilde{X}_{ср}$ по формуле

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N} (X_i - \tilde{X}_{ср})^2}$$

или

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^{N} X_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^{N} X_i \right)^2 \right]};$$

4) вычисление оценки среднего квадратического отклонения результата измерения $X = \tilde{X}_{ср}$ от истинного значения $X_и$ измеряемой физической величины по формуле

$$\tilde{\sigma}[\tilde{X}_{ср}] = \tilde{\sigma}/\sqrt{N};$$

5) вычисление доверительной границы случайной погрешности результата измерений (если результаты наблюдений распределены по нормальному закону) по формуле $\varepsilon = t_{N,\ P}\, \tilde{\sigma}[\tilde{X}_{ср}]$, где $t_{N,\ P}$ — коэффициент Стьюдента, зависящий от числа наблюдений N и доверительной вероятности P (приведен в справочниках по математике).

При этом $X_и \in [\tilde{X}_{ср} - \varepsilon,\ \tilde{X}_{ср} + \varepsilon]$ с доверительной вероятностью P.

При других законах распределения результатов наблюдений способы определения доверительных границ значительно сложнее и должны быть указаны в методике выполнения конкретных измерений.

Оценка результатов косвенных измерений

Результат косвенного измерения вычисляют по известной формуле, устанавливающей зависимость между искомой величиной z и величинами-аргументами (аргументами функции z) $x_1, x_2, \ldots, x_n$, подвергаемыми прямым измерениям, которая в обобщенном виде может быть представлена выражением

$$z = f(x_1, x_2, \ldots, x_n).$$

Если функция z линейна, например $z = \sum_{i=1}^{n} c_i x_i$, и каждая величина-аргумент измерялась один раз, то абсолютная погрешность косвенного измерения $\Delta_к = \sum_{i=1}^{n} c_i \Delta_i$, где c_i — постоянные коэффициенты; Δ_i — абсолютные погрешности измерения соответствующих аргументов

Если же каждый аргумент линейной функции измерялся многократно, то абсолютная среднеквадратическая погрешность косвенного измерения

$$\sigma_к = \sum_{i=1}^{n} c_i^2 \sigma_i^2,$$

где σ_i — среднеквадратические погрешности измерения i-х аргументов.

Если функция $z=\varphi(x_1, x_2, .., x_n)$ нелинейная дифференцируемая, то при однократном измерении аргументов функции абсолютная погрешность косвенного измерения

$$\Delta_к = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial z}{\partial x_i} \Delta_i,$$

а при многократных наблюдениях аргументов абсолютная среднеквадратическая погрешность косвенного измерения

$$\sigma_к = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial z}{\partial x_i}\right)^2 \sigma_i^2}.$$

Соответствующие относительные погрешности косвенных измерений находятся делением абсолютных погрешностей на значение искомой величины z.

Если абсолютные погрешности прямых измерений аргументов находят через класс точности приборов, измерявших аргументы, то абсолютная погрешность косвенного измерения принимает максимально возможное предельное (т. е. просуммированное по модулю) значение. Например, при нелинейной функции z

$$\Delta_{к\,max} = \pm \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{\partial z}{\partial x_i} \frac{K_i X_{Ni}}{100} \right|$$

или

$$\Delta_{к\,max} = \pm \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{\partial z}{\partial x_i} \frac{K_i X_{ni}}{100} \right|$$

соответственно при определении класса точности приборов K_i по формулам (1.5) или (1.3). Здесь K_i, X_{Ni}, X_{ni} — соответственно классы точности, нормирующие значения и показания приборов, измерявших i-е аргументы

Классификация измерительных приборов

Измерительные приборы делятся на показывающие и регистрирующие, на приборы непосредственной оценки и приборы сравнения По конструктивным компонентам они делятся на электромеханические и электронные радиоизмерительные.

Электромеханические измерительные приборы по типу измерительного механизма делятся на измерительные приборы магнитоэлектрические (в условном обозначении прибора стоит буква М), электромагнитные (Э), электростатические (С), электродинамические (Д)

В приборах выпрмительной системы (Ц) используется выпрямитель и магнитоэлектрический измерительный механизм, в приборах термоэлектрических (Т) — термопара и магнитоэлектрический измерительный механизм

Условное обозначение типа электромеханического прибора состоит из прописной буквы русского алфавита (в зависимости от системы прибора) и рядом стоящего числа. Например, С75 — измерительный прибор электростатической системы.

Радиоизмерительные приборы по характеру измерений и виду измеряемых величин разделяются на подгруппы, которым присваивается буквенное обозначение (прописная буква русского алфавита). Приборы подгрупп делятся в соответствии с основной выполняемой функцией на виды, которым присваивается буквенно-цифровое обозначение, состоящее из обозначения подгруппы и номера вида. Приборы каждого вида разделяются на типы, которым присваивается порядковый номер модели. В обозначении прибора номер модели пишется после обозначения вида через дефис. Например, обозначение «В2-10» обозначает: вольтметр (подгруппа В) постоянного тока (вида В2) модели номер 10.

Приборы, подвергшиеся модернизации, обозначаются как первоначальная модель с добавлением (после номера модели) русской прописной буквы в алфавитном порядке (например, В2-10А). Приборы, эксплуатация которых возможна в условиях тропического климата, в обо-

Таблица 15. **Классификация радиоизмерительных приборов**

Подгруппа	Наименование подгруппы
А	Приборы для измерения тока
В	Приборы для измерения напряжения
Е	Приборы для измерения параметров компонентов и цепей с сосредоточенными постоянными
М	Приборы для измерения мощности
Р	Приборы для измерения параметров элементов с распределенными постоянными
Ч	Приборы для измерения частоты и времени
Ф	Приборы для измерения разности фаз и группового времени запаздывания
С	Приборы для наблюдения, измерения и исследования формы сигнала и спектра
Х	Приборы для наблюдения и исследования характеристик радиоустройств
И	Приборы для импульсных измерений
П	Приборы для измерения напряженности поля и радиопомех
У	Усилители измерительные
Г	Генераторы измерительные
Д	Аттенюаторы и приборы для измерения ослабления
К	Комплексные измерительные установки
Л	Приборы общего применения для измерения параметров электронных ламп и полупроводниковых приборов
Ш	Приборы для измерения электрических и магнитных свойств материалов
Я	Блоки радиоизмерительных приборов
Э	Измерительные устройства коаксиальных и волноводных трактов
Б	Источники питания для измерений и радиоизмерительных приборов

Таблица 1.6. **Условные обозначения, наносимые на электроизмерительные приборы и вспомогательные части (по ГОСТ 23217—78)**

№ п/п	Символ по МЭК-51	Наименование	Условное обозначение
1	B-1	Постоянный ток	—
2	B-2	Переменный ток	~
3	B-3	Постоянный и переменный ток	
4	C-2	Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением, превышающим 500 В, например 2 кВ	2
5	C-1	Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением 500 В	
6	C-3	Прибор испытанию прочности изоляции не подлежит	0
7	C-7	Прибор или вспомогательная часть под высоким напряжением	V
8	Д-1	Прибор применять при вертикальном положении шкалы	⊥
9	D-2	Прибор применять при горизонтальном положении шкалы	
10	D-3	Прибор применять при наклонном положении шкалы (например, под углом 60°) относительно горизонтальной плоскости	60°
11	D-7	Обозначение, указывающее на ориентирование прибора во внешнем магнитном поле	N
12	F-1	Магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой	
13	F-3	Магнитоэлектрический прибор с подвижным магнитом	
14	F-5	Электромагнитный прибор	
15	F-8	Электродинамический прибор	
16	F-9	Ферродинамический прибор	
17	F-15	Биметаллический прибор	
18	F-16	Электростатический прибор	
19	F-20	Электронный преобразователь в измерительной цепи	
20	F-22	Выпрямитель	
21	F-27	Электростатический экран	
22	F-28	Магнитный экран	
23	F-29	Астатический прибор	ast
24	F-32	Корректор	
25	F-33	Внимание! Смотри дополнительные указания в паспорте и инструкции по эксплуатации	!
26	F-37	Стальной лист толщиной x (в миллиметрах)	Fe_x

значении имеют дополнительно букву «Т» (например, В2-10АТ).

Приборы с одинаковыми электрическими характеристиками, различающиеся лишь конструктивным исполнением, обозначаются дополнительно цифрой, которая пишется через дробь после номера модели: В2-10/1. Многофункциональные приборы могут иметь в обозначении вида дополнительную букву «К». Например, универсальный (т. е. постоянного и переменного тока) вольтметромметр может быть обозначен как В7-15 или ВК7-15.

Блоки, которыми комплектуются приборы, относятся к подгруппе Я. В обозначение вида блока добавляется буква, обозначающая индекс подгруппы по выполняемой функции. Например, блок прибора для измерения напряжения обозначается Я1В, блок прибора для наблюдения и исследования формы сигнала — Я4С и т. д.

Перечень подгрупп электронных радиоизмерительных приборов дан в табл. 1.5.

На электроизмерительных приборах и вспомогательных частях к ним наносят условные обозначения, которые указывают на особенности эксплуатации приборов и их конструкцию. Некоторые из этих обозначений приведены в табл. 1.6.

1.2. ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ

Общие сведения

Напряжения и токи измеряют в диапазоне от единиц микровольт до сотен киловольт и от долей наноампер до сотен килоампер при частотах от нуля до гигагерц.

Различные методы и средства измерений позволяют получать результаты измерений напряжений с погрешностями, составляющими тысячные доли процента, а токов — сотые доли процента. С наивысшей точностью измеряются постоянные напряжения и токи.

Напряжения и токи измеряют как приборами непосредственной оценки (электромеханической и электронной групп), так и приборами, реализующими методы сравнения. Широко применяются косвенные методы измерения.

Приборы, предназначенные для прямого измерения напряжений, называют вольтметрами, милливольтметрами, киловольтметрами. Их подключают параллельно участку цепи, напряжение на котором нужно измерить.

Приборы, предназначенные для прямого измерения токов, называют амперметрами (миллиамперметрами, микроамперметрами). Их включают в разрыв цепи.

Электромеханические вольтметры и амперметры

Электромеханические вольтметры и амперметры состоят из электрического измерительного механизма той или иной системы и

Таблица 1.7. **Уравнения шкал измерительных механизмов**

Система механизма	Обозначение	Уравнение шкалы
Магнитоэлектрическая	М	$\alpha = S_I I_0$; $\alpha = S_U U_0$
Электромагнитная	Э	$\alpha = S_I I_{с\ к}^2$; $\alpha = S_U U_{с\ к}^2$
Электростатическая	С	$\alpha = S_U U_{с\ к}^2$
Электродинамическая	Д	$\alpha = S_I I_{с\ к1} I_{с\ к2} \cos \varphi$

Таблица 1.8. **Измерители магнитоэлектрической системы**

Тип	Класс точности	Ток полного отклонения, мкА	Размеры, мм
М1690	1,0	50; 100; 200; 500	120×105×75
М1692	0,5; 1,0	20; 50; 100; 200; 500; 1000	120×105×75
М4204	1,5; 2,5	10; 20; 30; 50; 100; 200; 300; 500; 1000	80×80×49
М42007	1,5; 2,5	10; 20; 30; ±5; ±10; ±20; ±30	80×80×49
М4244	1,5; 2,5	10; 20; 30; ±5; ±10; ±20; ±30	80×80×59
М4205	1,5; 2,5	10; 20; 30; 50; 100; 200; 300; 500; 1000	60×60×49
М4208	1,5; 2,5	10; 20; 30; 50; 100; 200; 300; 500; 1000	60×60×49
М42008	1,5; 2,5	10; 20; 30; ±5; ±10; ±20; ±30	60×60×49
М4206	2,5; 4,0	10; 20; 30; 50; 100; 200; 300; 500; 1000	40×40×45
М42009	2,5; 4,0	10; 20; 30; ±5; ±20; ±30	40×40×49
М4228	4,0	200	30×30×49
М4248	2,5; 4,0	±50; ±75; 100; 150; 200; 250	21×54×58

измерительного преобразователя в виде добавочных резисторов или шунтов.

Свойства измерительных механизмов описываются уравнением шкалы, устанавливающим зависимость между линейным (или угловым) перемещением указателя механизма α и измеряемой величиной, воздействующей на механизм. Уравнения шкал измерительных механизмов в сокращенной записи приведены в табл. 1.7. В этих уравнениях: α — линейное или угловое перемещение указателя механизма; S_I — коэффициенты чувствительности к току; S_U — коэффициенты чувствительности к напряжению; I_0, U_0 — постоянные составляющие тока и напряжения; $I_{с\,к}$, $U_{с\,к}$ — среднеквадратические значения тока и напряжения; $I_{с\,к1}$, $I_{с\,к2}$ — среднеквадратические значения токов соответственно в первой и второй катушках механизма; φ — фазовый сдвиг между токами в катушках.

Если катушки механизма типа Д подключены в цепи одного источника, то уравнение его шкалы приводится к виду $\alpha = k_1 S_I I^2_{с\,к1}$ или $\alpha = k_2 S_U U^2_{с\,к2}$.

В стрелочных (аналоговых) измерительных приборах наибольшее применение находят магнитоэлектрические измерители; характеристики некоторых из них даны в табл. 1.8.

Схемы электромеханических вольтметров приведены на рис. 1.2.

Сопротивления добавочных резисторов вольтметров, выполненных по схеме на рис. 1.2,*а*, вычисляют по формуле

$$R_i = (U_{пр\,i} - I_{PA} r_{PA}) / I_{PA},$$

а вольтметров, выполненных по схеме на рис. 1.2,*б*,— по формулам

$$R_1 = (U_{пр\,1} - I_{PA} r_{PA}) / I_{PA},$$
$$R_2 = [(U_{пр\,2} - I_{PA} r_{PA}) / I_{PA}] - R_1,$$
$$R_3 = [(U_{пр\,3} - I_{PA} r_{PA}) / I_{PA}] - (R_1 + R_2) \quad \text{и т. д.},$$

где $U_{пр\,i}$ — рассчитываемый i-й верхний предел измерения вольтметра; R_i — сопротивление добавочного резистора соответствующего предела измерения; I_{PA} — ток предельного (или полного) отклонения указателя микроамперметра (миллиамперметра); r_{PA} — сопротивление рамки микроамперметра (все величины — в единицах СИ).

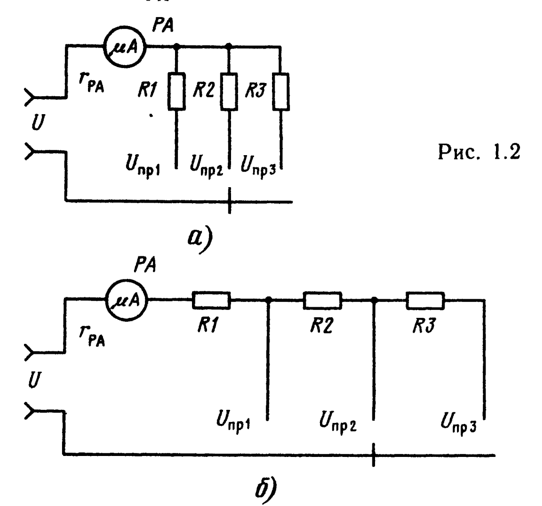


Рис. 1.2

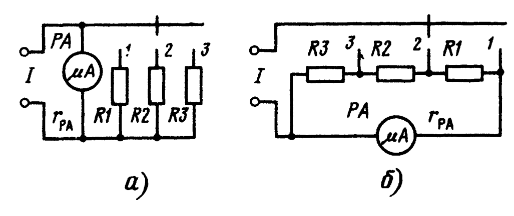


Рис. 1.3

Схемы электромеханических амперметров приведены на рис. 1.3. В амперметрах для расширения пределов измерения используют шунты — резисторы, подключаемые параллельно рамке (катушке) измерителя PA. Сопротивления шунтов, включаемых по схеме на рис. 1.3,*а*, вычисляют по формуле

$$R_i = r_{PA} [I_{PA} / (I_{пр\,i} - I_{PA})] = r_{PA} / (n_i - 1),$$

где $I_{пр\,i}$ — рассчитываемый i-й верхний предел измерения амперметра; $n_i = I_{пр\,i} / I_{PA}$ — коэффициент расширения i-го предела измерения.

Сопротивления многопредельного универсального шунта (рис. 1.3,*б*) рассчитывают на основании формулы

$$n_i = I_{пр\,i} / I_{PA} = (R_{ш\,i} + r_{PA} + R_{д\,i}) / R_{ш\,i} = R / R_{ш\,i},$$

где $R_{ш\,i}$ — суммарное сопротивление резисторов, включенных непосредственно между входными зажимами амперметра на i-м верхнем пределе измерения; $R_{д\,i}$ — суммарное сопротивление резисторов, включенных последовательно с рамкой (катушкой) измерителя PA на i-м пределе измерения; R — общее сопротивление контура «измеритель — резисторы».

Для рис. 1.3,*б*: на первом пределе измерения $R_{ш\,1} = R_1 + R_2 + R_3$, $R_{д\,1} = 0$; на втором $R_{ш\,2} = R_2 + R_3$, $R_{д\,2} = R_1$; на третьем $R_{ш\,3} = R_3$, $R_{д\,3} = R_2 + R_1$.

При наличии многопредельного универсального шунта пределы измерения тока можно изменять без выключения тока в контролируемой цепи. Пределы измерений амперметров с простыми шунтами (рис. 1.3,*а*) можно изменять лишь после выключения тока в измеряемой цепи (или при наличии безобрывного переключателя пределов), так как в противном случае возможны многократная перегрузка измерителя и перегорание его рамки (катушки) или токоподводящих пружин.

Рассмотренные шунты называют индивидуальными, поскольку они рассчитаны на применение с конкретными измерителями. Они могут быть внутренними (помещаемыми внутри корпуса прибора) и наружными (монтируемыми вне корпуса прибора).

Промышленные приборы с индивидуальными шунтами не изготовляются, а выпускаются с взаимозаменяемыми калиброванными шунтами, пригодными для подключения к любому измерителю с номинальным падением напряжения на его зажимах, при котором указатель отклоняется до конечного значения шкалы. Калиброванные шунты изготовляются с номиналь-

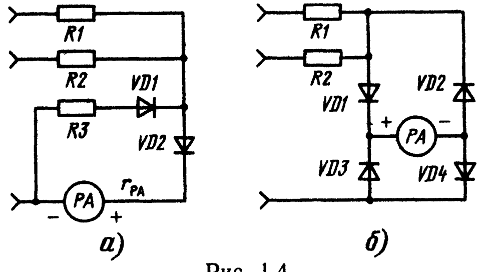


Рис. 1.4

Рис. 1.5

ным падением напряжения 60 или 75 мВ, которое указывается на шунте или в его паспорте, например «75mV500A».

Для измерения переменных напряжений и токов с частотами до нескольких десятков килогерц широко применяют приборы выпрямительной системы, состоящие из измерительного механизма магнитоэлектрической системы, диодного выпрямителя, добавочных резисторов и шунтов.

Сопротивления добавочных резисторов вольтметров выпрямительной системы, выполненных по схеме на рис. 1.4, *а*, вычисляют по формуле

$$R_i = (0{,}45\, U_{с\ к\ пр\ i}/I_{PA}) - (r_{PA} + r_д),$$

а вольтметров, выполненных по схеме на 1.4, *б*,— по формуле

$$R_i = (0{,}9\, U_{с\ к\ пр\ i}/I_{PA}) - (r_{PA} + 2r_д),$$

где $U_{с\ к\ пр\ i}$ — i-й верхний предел измерения вольтметра (среднеквадратическое значение синусоидального напряжения); I_{PA} — ток предельного отклонения указателя измерителя; $r_д$ — сопротивление диода в прямом направлении.

Амперметры выпрямительной системы выполняют по схемам, аналогичным схеме на рис. 1.3, с включением соответствующим образом выпрямляющих диодов.

Показания приборов выпрямительной системы пропорциональны средневыпрямленному значению измеряемых напряжений или токов. Шкалы же их градуируют в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения. Поэтому показания приборов выпрямительной системы равны среднеквадратическому значению напряжения или тока лишь при измерении напряжений и токов синусоидальной формы.

Аналоговые электронные вольтметры

Аналоговые электронные вольтметры применяют для измерения постоянных напряжений (вольтметры вида В2), переменных (вида В3) и импульсных напряжений (вида В4). Электронные универсальные вольтметры (вид В7) могут измерять и постоянные, и переменные напряжения.

Электронные вольтметры постоянного тока имеют усилитель постоянного тока (УПТ), к выходу которого подключается стрелочный измеритель магнитоэлектрической системы РА. Усилитель обеспечивает высокое входное сопротивление вольтметра до нескольких десятков мегаом и повышает его чувствительность.

Электронные вольтметры переменного тока и импульсные выполняют по одной из схем: «усилитель переменного тока — выпрямитель (называемый детектором) — измеритель» (рис. 1.5, *а*) или «детектор — УПТ — измеритель» (рис. 1.5, *б*). По схеме рис. 1.5, *а* изготавливают милливольтметры (микровольтметры). Однако у таких вольтметров верхняя граница области рабочих частот не превышает нескольких мегагерц. По схеме на рис. 1.5, *б* выполняют вольтметры с верхней границей области рабочих частот в несколько сотен мегагерц. Однако такие вольтметры имеют низкую чувствительность (нижняя граница диапазона измерения — не ниже нескольких десятых вольта).

Универсальные вольтметры строятся по структурной схеме, изображенной на рис. 1.6.

Свойства электронных вольтметров в значительной мере определяются видом примененного детектора. В электронных вольтметрах применяют пиковые (амплитудные) детекторы с открытым входом (рис. 1.7), пиковые детекторы с закрытым входом (рис. 1.8), детекторы среднеквадратического значения (квадратичные де-

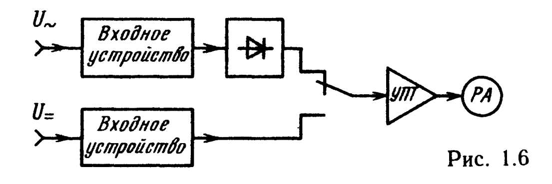


Рис. 1.6

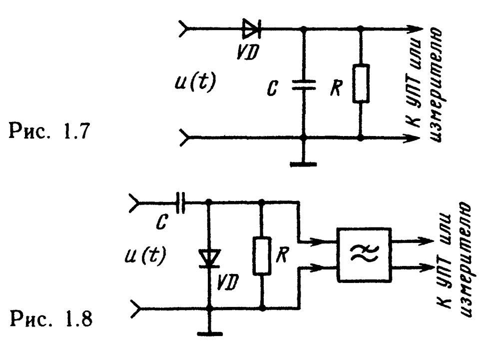


Рис. 1.7

Рис. 1.8

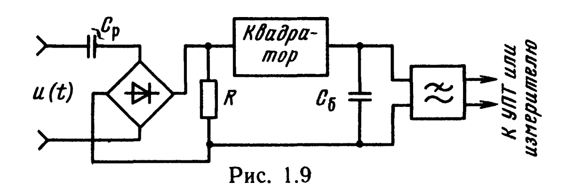


Рис. 1.9

Рис. 1.10

текторы) (рис. 1.9, 1.10) и детекторы средневыпрямленного значения (рис. 1.11). Параметры конденсаторов и резисторов пиковых детекторов выбирают в зависимости от области рабочих частот вольтметра и амплитуды измеряемого напряжения. Обычно С=100...10 000 пФ, R=40...100 МОм.

Среднее значение (т. е. постоянная составляющая) напряжения на выходе детектора по схеме на рис. 1.7 практически (с погрешностью не более 1...2 %) равно максимальному значению измеряемого напряжения (с учетом и его постоянной составляющей). Среднее значение напряжения на выходе детектора по схеме на рис. 1.8 практически равно пиковому отклонению «вверх» измеряемого напряжения над его постоянной составляющей (постоянная составляющая «не проходит» на выход детектора — вход детектора «закрыт» для нее).

В квадратичных детекторах с открытым входом (рис. 1.9) квадратор должен иметь вольт-амперную характеристику вида $i=bu^2(t)$. Постоянная составляющая напряжения на выходе ФНЧ такого детектора прямо пропорциональна среднеквадратическому значению измеряемого напряжения.

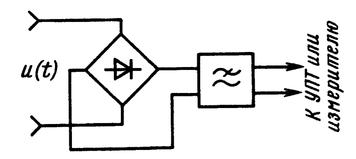


Рис. 1.11

В квадратических детекторах с закрытым входом (рис. 1.10) квадратор должен иметь вольт-амперную характеристику вида $i=bu^2(t)$ или $i=au(t)+bu^2(t)$. Постоянная составляющая напряжения на выходе ФНЧ квадратичного детектора с закрытым входом прямо пропорциональна среднеквадратическому значению переменной составляющей измеряемого напряжения. Емкость разделительного конденсатора $C_р$ выбирается в пределах 100...10 000 пФ; емкость блокировочных конденсаторов $C_б$ может составлять несколько десятков микрофарад. Постоянная составляющая напряжения на выходе ФНЧ детектора средневыпрямленного значения с открытым входом (рис. 1.11) прямо про-

Таблица 1.9. **Аналоговые электронные вольтметры**

Тип	Конечные значения шкал	Класс точности	Рабочая область частот	$R_{вх}$	$C_{вх}$
В2-25	3; 10; 30; 100; 300; 1000 мкВ 3; 10; 30; 100; 300; 1000 мВ	6,0...1,5 1,5	Постоянный ток	10...300 МОм	—
В3-44	10; 30; 100; 300 мВ 1; 3; 10; 30; 100; 300 В	2,5	20 Гц...20 кГц	20 кОм	60 пФ
В3-42	100; 300 мкВ 1; 3; 10; 30; 100; 300 мВ 300 В (с делителем)	5,0...20,0 4,0...10,0 —	10 Гц...50 МГц —	2,5...50 МОм —	15...30 пФ —

Таблица 1.10. **Аналоговые импульсные вольтметры**

Тип	Диапазон измерения	Класс точности	Длительность импульса	Частота повторения импульса	Скважность импульсов	$R_{вх}$	$C_{вх}$
В4-12	1...1 000 мВ; 100 В (с делителем)	4,0...10,0	0,1...300 мкс	50 Гц...100 кГц	2...200 000	1 МОм	10 пФ
В4-14	0,01...100 В	4,0...10,0	3 нс...100 мкс	25 Гц...50 МГц	—	3 кОм	12 пФ

порциональна средневыпрямленному значению измеряемого напряжения. В качестве ФНЧ наиболее часто используют фильтр RC типа.

Основные технические характеристики некоторых аналоговых электронных вольтметров, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в табл. 1.9, 1.10.

Цифровые вольтметры

В цифровых вольтметрах результат измерения представляется цифрами, что исключает ряд субъективных погрешностей. Сигналы, вырабатываемые цифровыми вольтметрами в процессе измерения напряжения, удобны для их использования в цифровых вычислительных и регистрирующих машинах, АСУ и т. д. Точность цифровых вольтметров обычно существенно выше точности аналоговых вольтметров.

Наибольшее распространение получили цифровые вольтметры постоянного тока. Для измерения переменных напряжений такие вольтметры комплектуются съемными детекторами. Разработаны также цифровые вольтметры прямого (без детекторов) измерения переменного напряжения.

В основу работы цифровых вольтметров положен принцип преобразования аналоговой (непрерывной) величины в дискретную. По способу такого преобразования различают цифровые вольтметры с времяимпульсным преобразованием, вольтметры с поразрядным уравновешиванием и др.

Структурная схема цифрового вольтметра постоянного тока с времяимпульсным преобразованием дана на рис. 1.12. На рис. 1.13 приведены временные диаграммы напряжения в характерных точках схемы (эти точки обозначены цифрами в кружках), поясняющие работу вольтметра. Суть времяимпульсного преобразования состоит в том, что измеряемое напряжение преобразуется в интервал времени, прямо пропорциональный этому напряжению, а затем интервал времени измеряется с помощью счетных импульсов, следующих через известный малый интервал времени $T_к$ и подсчитываемых электронным счетчиком импульсов.

Напряжение измеряется циклами, которые задаются управляющим устройством УУ. Управление циклами может быть ручным или автоматическим (с помощью реле времени). В начале цикла УУ запускает генератор линейно изме-

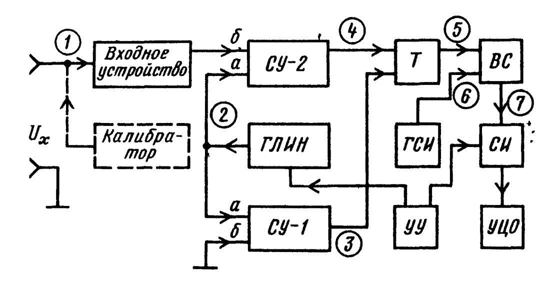


Рис. 1.12

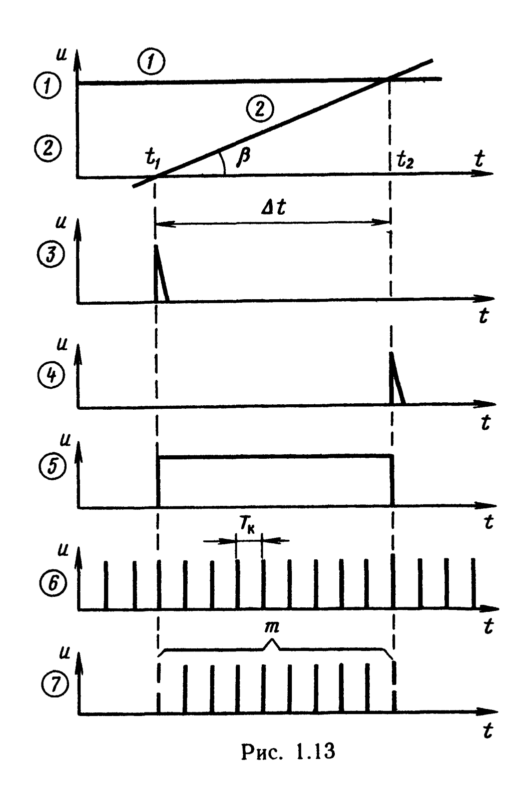


Рис. 1.13

няющегося напряжения ГЛИН и сбрасывает на нуль счетчик импульсов СИ. В момент t_1 (рис. 1.13, 1,2) срабатывает сравнивающее устройство СУ-1 и выдает импульс (рис. 1.13, 3). Триггер Т этим импульсом перебрасывается в состояние 1 (рис. 1.13, 5) и открывает временной селектор ВС, на вход б которого подано напряжение кварцевого генератора счетных импульсов ГСИ (рис. 1.13, 6). Счетные импульсы через открытый ВС поступают на СИ (рис. 1.13, 7). В момент t_2 напряжение ГЛИН сравняется с измеряемым (рис. 1.13, 1, 2) и СУ-2 выдаст импульс (рис. 1.13, 4), которым триггер Т возвратится в состояние 0 (рис. 1.13, 5). Временной селектор закрывается, счет импульсов прекращается.

За время действия стробирующего импульса Δt на счетчик СИ прошло m импульсов. Их количество определяет измеряемое напряжение U_x:

$$\Delta t = mT_к, \quad U_x = \Delta t \operatorname{tg} \beta;$$
$$U_x = mT_к \operatorname{tg} \beta = mK.$$

На выбранном пределе измерения K постоянно, так как зависит лишь от скорости изменения напряжения ГЛИН и периода следования счетных импульсов $T_к$. Обычно параметры выбирают так, что $K = 10^n$, где $n = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$ При этом $U_x = 10^n m$ и переключение пределов измерения равноценно переносу запятой на табло устройства цифрового отсчета УЦО.

Погрешность измерения напряжения вольтметром слагается из погрешности образцово-

Таблица 1.11. **Цифровые вольтметры**

Тип	Диапазон измерения	Погрешность измерения*	Рабочая область частот	$R_{вх}$	$C_{вх}$
ВК2-20	2 мВ...200 В 0,2 мкА...2А	$\pm(0{,}3+0{,}1U_{пред}/U_x)$, %	Постоянный ток	1...100 МОм	—
В4-13	$U_{имп}$:0,1...150 В $U_{\sim}$:0,1...130 В $U_{=}$:0,1...150 В	$\pm(0{,}005U_x+0{,}02)$, В $\pm(0{,}005U_x+0{,}02)$, В $\pm(0{,}005U_x+0{,}02)$, В	10 Гц...1 МГц 10 Гц...100 кГц Постоянный ток	50; 75; 150; 1000 Ом 1 МОм 1 МОм	 35 пФ —
В2-29**	$U_{=}=\pm1$ В	$\pm[0{,}1+0{,}03(U_{пред}/U_x-1)]$, %	То же	100 МОм	

* U_x — значение измеряемой величины, $U_{пред}$ — конечное значение диапазона показаний
** Встраиваемый вольтметр

го (линейно изменяющегося) напряжения ГЛИН, погрешности сравнивающих устройств СУ-1 и СУ-2, погрешности дискретности, связанной с возможностью счета «лишнего» импульса или недосчета «нужного» импульса, соответствующих интервалам действия фронта и среза стробирующего импульса (рис. 1.13, 5), а также погрешности интервала $T_к$.

Характеристики некоторых цифровых вольтметров промышленного изготовления даны в табл. 1.11.

Зависимость показаний вольтметров и амперметров от формы измеряемого сигнала

Вольтметры разных систем или с разными типами детекторов при измерении одного и того же напряжения могут давать разные показания. Например, при измерении постоянного напряжения вольтметры магнитоэлектрической системы дадут показания, равные постоянной составляющей этого напряжения, а показания вольтметров, имеющих детекторы с закрытым входом, покажут 0. При измерении же напряжения синусоидальной формы вольтметры магнитоэлектрической системы покажут 0, а электронные вольтметры в зависимости от типа детектора дадут показания, прямо пропорциональные амплитуде, среднеквадратическому или средневыпрямленному значению измеряемого напряжения. Таким образом, для правильной оценки результатов измерений и нахождения интересующего значения измеряемого напряжения нужно знать систему примененного в приборе измерителя, тип детектора, схему входа (открыт или закрыт) и характер градуировки шкалы (шкала прибора переменного тока может градуироваться в пиковых или среднеквадратических значениях синусоидального напряжения).

Следует помнить, что оцифровка шкалы вольтметра с пиковым детектором при его градуировке на синусоидальном напряжении в среднеквадратических значениях уменьшается в $\sqrt{2}\approx 1{,}41$ раза по сравнению с пиковым (амплитудным) значением, имеющимся на входе вольтметра. Оцифровка шкалы вольтметра с детектором средневыпрямленного значения при его градуировке в среднеквадратических значениях на синусоидальном напряжении увеличивается в 1,11 раза.

Пример. Требуется измерить напряжение, имеющее форму периодической последовательности однополярных прямоугольных импульсов (рис. 1.14), и определить ожидаемые показания вольтметров В4-2, В7-15 и В3-10А, если амплитуда импульсов $U_m=20$ В, а скважность $Q=T/\tau=10$.

Решение проведем без учета погрешностей. Вольтметры В4-2 и В7-15 имеют закрытый вход и не реагируют на постоянную составляющую измеряемого напряжения U_0 (показания этих вольтметров прямо пропорциональны $U_{в\,в}$):

$$U_{в\,в}=U_m-U_0=U_m-\frac{1}{T}\int_0^T u(t)\,dt=$$

$$=U_m-(U_m/Q)=18\ \text{В}.$$

Поскольку шкала вольтметра В4-2 градуирована в пиковых значениях напряжения, то его показание $X_{п1}=U_{в\,в}=18$ В.

Вольтметр В7-15 должен показать $X_{п2}=U_{в\,в}/\sqrt{2}=12{,}7$ В, так как его шкала градуирована в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения.

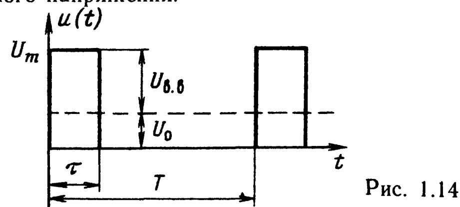


Рис. 1.14

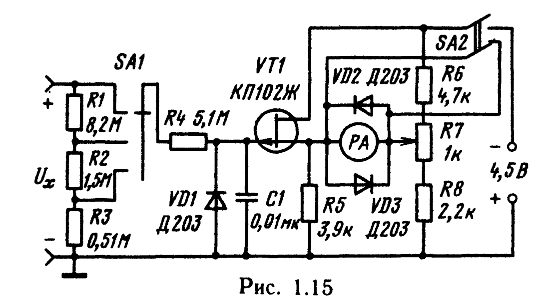


Рис. 1.15

Вольтметр типа В3-10А на пределах измерения выше 0,3 В имеет открытый вход, детектор средневыпрямленного значения и шкалу, градуированную в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения. Так как средневыпрямленное значение однополярного напряжения совпадает с постоянной составляющей этого напряжения (см. § 1.1), то $U_{св} = U_0 = U_m/Q = 2$ В. Поскольку при градуировке оцифровка шкалы вольтметра В3-10А увеличена в 1,11 раза относительно средневыпрямленного значения калибрующего синусоидального напряжения, показания вольтметра должны быть равны $X_{пз} = 1{,}11U_{св} = 1{,}11 \cdot 2 = 2{,}22$ В.

Изложенное справедливо и для амперметров.

Радиолюбительские конструкции

Схема вольтметра постоянного тока с УПТ на полевом транзисторе приведена на рис. 1.15. Транзистор VT1 и резисторы R5—R8 образуют мост, в диагональ которого включен измеритель магнитоэлектрической системы PA, имеющий ток предельного отклонения 100 мкА и сопротивление рамки 1870 Ом. Входное сопротивление вольтметра практически определяется сопротивлением входного делителя напряжения и сопротивлением утечек и меняется в пределах от 0,5 до нескольких мегаом. Конечные значения шкал 1, 5 и 20 В. Установка нуля производится резистором R7. Диоды VD1—VD3 защитные. Электрическое арретирование измерителя происходит при разомкнутом включателе SA2. Для измерения переменных напряжений ко входу вольтметра нужно подключить один из детекторов, описанных ранее. Для повышения чувствительности в прибор (между VT1 и PA) может быть введен дополнительный УПТ на микросхеме (например, К153УТ1А).

1.3. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ, ЕМКОСТЕЙ И ИНДУКТИВНОСТЕЙ

Методы измерения сопротивлений

Сопротивления наиболее часто измеряют методом непосредственной оценки (с помощью омметров), характеризуемым простотой отсчета

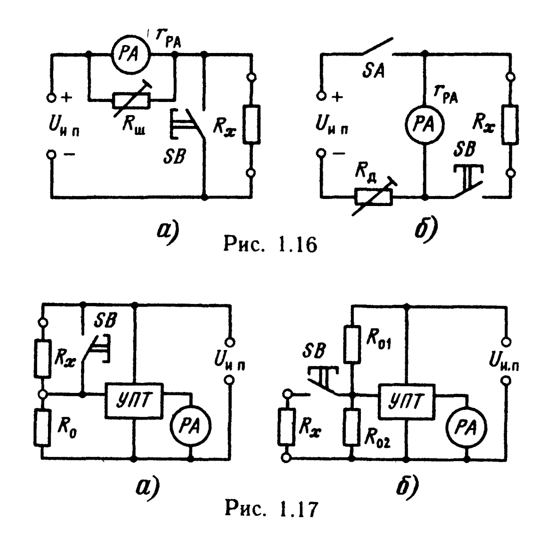


Рис. 1.16

Рис. 1.17

и широкими пределами измерений, и методом сравнения (мостовым), обеспечивающим малую погрешность измерений.

Электромеханические омметры постоянного тока разделяются на две основные группы: с последовательной схемой (рис. 1.16,*а*) для измерения средних и больших сопротивлений (1 Ом и выше) и с параллельной схемой для измерения малых сопротивлений (рис. 1.16, *б*).

В качестве отсчетного устройства омметры используют измеритель магнитоэлектрической системы с током предельного отклонения 20... 100 мкА. Шкалы омметров с последовательной схемой имеют нулевую отметку справа (указатель измерителя устанавливается на эту отметку при замкнутой кнопке SB) и отметку ∞ слева. Омметры с параллельной схемой имеют нулевую отметку слева, а отметку ∞ справа. Переменный резистор $R_ш$ служит для установки нуля омметра (при замкнутой кнопке SB), а резистор $R_д$ — для установки отметки ∞ (при разомкнутой кнопке SB). Омметр градуируют по образцовым резисторам. Обычно погрешность омметров составляет 4...10 %; на начальном и конечном участках шкалы погрешности значительно возрастают.

Электронные омметры строят на базе УПТ. Они представляют собой, по сути, вольтметры постоянного тока, на входы которых подается напряжение, снимаемое с делителя напряжения, образуемого измеряемым R_x и образцовым R_0 резисторами (рис. 1.17). Возможные изменения напряжения питания $U_{и п}$ компенсируются изменением коэффициента усиления УПТ при установке нулевой отметки (рис. 1.17, *а* — нуль справа) или отметки ∞ (рис. 1.17, *б* — ∞ справа).

Основным недостатком омметров, схемы которых показаны на рис. 1.16 и 1.17, является неравномерность шкалы. На базе УПТ можно построить омметр с линейной (равномерной) шкалой, если включить образцовый R_0 и измеряемый R_x резисторы, как показано на рис. 1.18. Напряжение на выходе УПТ здесь линейно зависит от измеряемого сопротивления.

$$|U_{вых}| = (U_{и п}/R_0)R_x$$

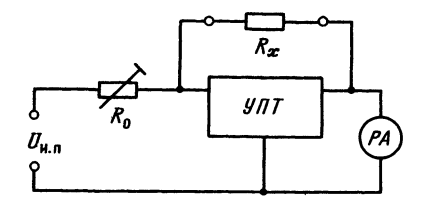


Рис. 1.18

Коррекция показаний омметра при изменении напряжения питания $U_{и\,п}$ осуществляется изменением сопротивления образцового резистора R_0. Переключение пределов измерения может осуществляться ступенчатым переключением номинальных значений $U_{и\,п}$ или R_0.

Омметр с равномерной шкалой (рис. 1.19). Последовательно с источником питания $U_{и\,п}$ включены образцовый R_o и измеряемый R_x резисторы. Если с помощью измерителя PA с включенным последовательно установочным резистором R_y измерить падения напряжений U_0 и U_x соответственно на образцовом R_0 и измеряемом R_x резисторах, то искомое сопротивление $R_x = R_0U_x/U_0$.

Следовательно, R_x линейно зависит от сопротивления резистора R_0 и отношения U_x/U_o. Чтобы ускорить получение искомой величины R_x, можно установить переключатель в положение «Калибровка» и регулировкой резистора R_y добиться отклонения стрелки измерителя PA на всю шкалу: конечную отметку шкалы обозначить единицей. Остальные деления шкалы при этом будут соответствовать долям от сопротивления резистора R_o. Теперь для измерения R_x достаточно переключатель SA поставить в положение «Измерение» и определить, какую долю от R_o составляет R_x. Если при установке переключателя SA в положение «Измерение» стрелка прибора уйдет за шкалу, то следует подобрать образцовый резистор R_0 с большим сопротивлением и повторить операции измерения. Если омметр многопредельный, то вместо одного образцового резистора R_o берут несколько переключаемых резисторов (по числу пределов измерения), которые для удобства выбирают из ряда 1, 10, 100 и т. д. Общее сопротивление измерителя PA и резистора R_y должно быть много больше сопротивления резисторов R_x и R_o.

Омметр с линейной шкалой можно построить, используя свойство транзистора, включенного по схеме ОБ: коллекторный ток такого транзистора практически не зависит от коллекторной нагрузки и напряжения на коллекторе. Если испытываемый резистор R_x включить в цепь коллектора транзистора (рис. 1.23), то показание вольтметра PV, подключаемого к резистору, окажется прямо пропорциональным сопротивлению этого резистора и шкалу вольтметра можно градуировать в единицах сопротивления. Она будет практически линейной.

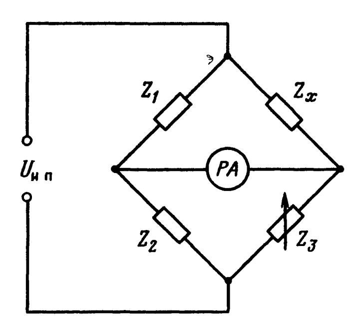


Рис. 1.20

Мостовые методы. Эти методы позволяют осуществлять наиболее точные измерения сопротивлений. Три плеча моста (рис. 1.20) образуют образцовые комплексные сопротивления Z_1, Z_2, Z_3 (конденсаторы, катушки индуктивности), а четвертое — измеряемое сопротивление Z_x. Баланса (отсутствия тока через измеритель PA) добиваются изменением одного или нескольких образцовых сопротивлений. При измерении сопротивлений постоянному току мост питается постоянным напряжением $U_{и\,п}$, в качестве индикатора баланса используется гальванометр магнитоэлектрической системы, а плечи моста образуются резисторами. При этом $R_x = R_1R_3/R_2$.

При питании моста переменным напряжением индикатором баланса могут служить головной телефон или милливольтметр переменного тока.

Для измерения сопротивлений $R_x < 1$ Ом на постоянном токе применяют двойной мост (рис. 1.21). Баланс моста получают изменением сопротивлений образцовых резисторов R1, R1′, R2, R2′ и R3. При точном выполнении условий $R1 = R'1$ и $R2 = R'2$ сопротивление резистора $R_x = (R1/R2)R3$.

Для повышения чувствительности мост питают от мощного источника тока (обычно аккумулятора). Рабочий ток контролируют амперметром.

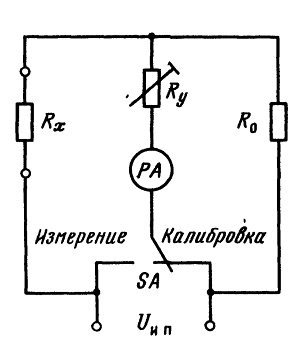


Рис. 1.19

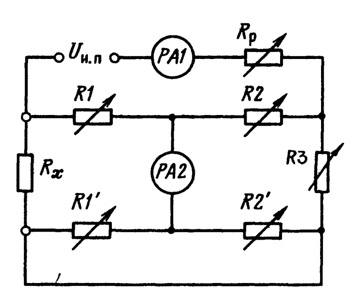


Рис. 1.21

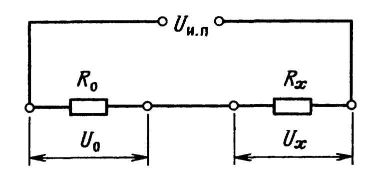


Рис. 1.22

Измерение сопротивлений методом вольтметра (рис. 1.22). Для определения сопротивления резистора R_x вольтметром измеряют падения напряжений U_0 и U_x на образцовом R_0 и измеряемом R_x резисторах. Тогда $R_x=(U_x/U_0)\,R_0$.

Необходимое напряжение источника питания вычисляют по закону Ома с учетом сопротивления резистора R_0, предела измерения вольтметра и предполагаемого сопротивления резистора R_x. Точность измерения зависит от класса точности вольтметра и образцового резистора. Необходимо соблюдение условий $R_{вх}\gg R_0$; $R_{вх}\gg R_x$, так как погрешность измерения уменьшается с увеличением входного сопротивления вольтметра $R_{вх}$.

Электромеханические цифровые омметры. Их выполняют в виде автоматических мостов либо цифровых вольтметров с автоматически перестраиваемой цепочкой образцовых резисторов. Большим быстродействием обладают электронные омметры, использующие времяимпульсные методы. Цифровые вольтметры и омметры имеют много общих схемных узлов, что позволяет создавать комбинированные цифровые приборы — вольтомметры.

Таблица 1.12. **Омметры**

Тип	Диапазон измерений	Основная погрешность, %
М127	0...2 МОм	±1,5
М372	0,1...50 Ом	±1,5
М503	200 Ом... 100 МОм	±1,0
Е6-5	1 Ом...9999 кОм	±1 %, ±1 ед. сч.
Е6-15	0,0001...100 Ом	±1,5
Е6-16	2 Ом...200 МОм	±1,5
ЕК6-1	30 МОм...1000 тОм	±10,0

Основные характеристики некоторых омметров промышленного производства даны в табл. 1.12.

Радиолюбительские конструкции измерителей сопротивлений

Омметры, выполненные по схемам, изображенным на рис. 1.16, 1.17, обычно используются в составе комбинированных измерительных приборов, например ампервольтомметров. Популярностью у радиолюбителей пользуются простейшие мостовые измерители и омметры с равномерной шкалой.

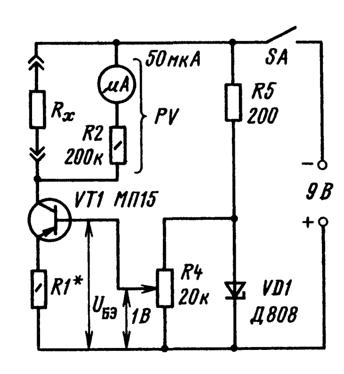


Рис. 1.23

Транзисторный омметр с линейной шкалой (рис. 1.23). Принцип работы омметра основан на независимости тока коллектора транзистора, включенного по схеме ОБ, от сопротивления коллекторной цепи. При параметрах компонентов, указанных на схеме, прибор позволяет измерять сопротивления в пределах от 0 до 25 кОм. Расширение пределов измерения возможно при изменении напряжения $U_{БЭ}$, сопротивления резистора R1, напряжения источника питания или применении более чувствительного вольтметра PV (например, электронного вольтметра по схеме на рис. 1.15).

Методы измерения емкостей и индуктивностей

Мостовой метод измерения емкости и индуктивности (см. рис. 1.20) применяют для измерения емкостей от нескольких сотен пикофарад до нескольких десятков микрофарад и больших индуктивностей. При этом определяют сопротивление $Z_x=Z_1Z_3/Z_2$ и вычисляют измеряемую емкость $C_x\approx 160\,000/(fZ_x)$ или индуктивность (при малом активном сопротивлении обмотки катушки) $L_x\approx 160z_x/f$, где z_x — модуль комплексного сопротивления, кОм; f — частота питающего мост напряжения, кГц; C_x — измеряемая емкость, пФ; L_x — измеряемая индуктивность, мГн.

Мост питают переменным напряжением частотой 500...1000 Гц.

Емкости до 5000 пФ и индуктивности до 100 мГн обычно измеряют резонансным или генераторным методом.

Резонансный метод измерения емкости (рис. 1.24). Измеряемый конденсатор C_x подклю-

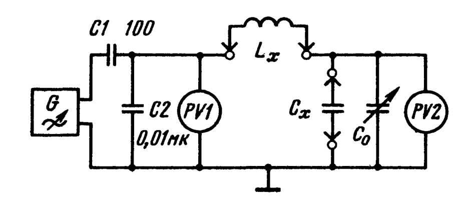


Рис. 1.24

чают параллельно образцовому конденсатору переменной емкости C_0, а к зажимам L_x — катушку индуктивности. Таким образом создается последовательный колебательный контур, который питается от генератора РЧ через емкостной делитель напряжения C1, C2. Необходимые индуктивность катушки L_x или диапазон частот генератора вычисляют по формулам

$$L_x = 25\,300/[(C_0 + C_x + C_{вх\,2} + C_м)\,f^2];$$
$$f_{min}\sqrt{25\,300/[L_x(C_{0\,max} + C_x + C_{вх\,2} + C_м)]};$$
$$f_{max} = \sqrt{25\,300/[L_x(C_{0\,min} + C_x + C_{вх\,2} + C_м)]},$$

где $C_{0\,max}$ и $C_{0\,min}$ — максимальная и минимальная емкости образцового конденсатора, пФ; C_x — предполагаемая измеряемая емкость, пФ; $C_{вх\,2}$ — входная емкость электронного вольтметра PV2, пФ; $C_м$ — емкость монтажа контура, пФ.

Для уменьшения погрешностей измерения необходимого соблюдать условие $C_2 \gg (C_{0\,max} + C_x + C_{вх\,2} + C_м)$.

Возможны две методики измерения.

1. При минимальной емкости образцового конденсатора $C_{0\,min}$ изменяют частоту генератора до получения резонанса контура (показания электронного вольтметра PV2 должны быть максимальны). При этом полная емкость контура

$$C_к = 25\,300/(f^2L) \text{ и } C_x = C_к - (C_0 + C_{вх2} + C_м),$$

где f — частота генератора, при которой наступил резонанс, МГц; L — индуктивность контура, мкГн; $C_к$, C_x, C_0, $C_{вх\,2}$, $C_м$ — емкости, пФ.

2. При максимальной емкости $C_{0\,max}$ и невключенном конденсаторе C_x перестройкой частоты генератора добиваются резонанса Затем подключают измеряемый конденсатор C_x и, не изменяя частоты генератора, перестройкой емкости конденсатора C_0 снова добиваются резонанса контура. Емкость измеряемого конденсатора $C_x = C_{0\,max} - C_{0l}$, где C_{0l} — емкость образцового конденсатора C_0 при включенном конденсаторе C_x.

Расширение пределов измерения при этой методике осуществляется параллельным или последовательным подключением к конденсатору C_0 дополнительных образцовых конденсаторов.

Резонансный метод измерения индуктивности. Измеряемую катушку подключают к зажимам L_x (рис. 1.24).

Возможны две методики измерения.

1. При произвольной емкости конденсатора C_0 перестройкой частоты генератора добиваются резонанса контура и вычисляют индуктивность катушки по формуле

$$L_x = 25\,300/[(C_0 + C_{вх\,2} + C_м)f^2].$$

2. При некоторой фиксированной частоте генератора f изменяют емкость конденсатора C_0 до наступления резонанса; L_x вычисляют по той же формуле.

Генераторный метод измерения емкости и индуктивности (рис. 1.25). При отключенной измеряемой реактивности (C_x или L_x) подстроечным конденсатором $C_п$ приводят к одному значению частоты генераторов РЧ-1 и РЧ-2. Равенство частот определяют по нулевым биениям. В качестве индикатора нулевых биений могут быть использованы головные телефоны.

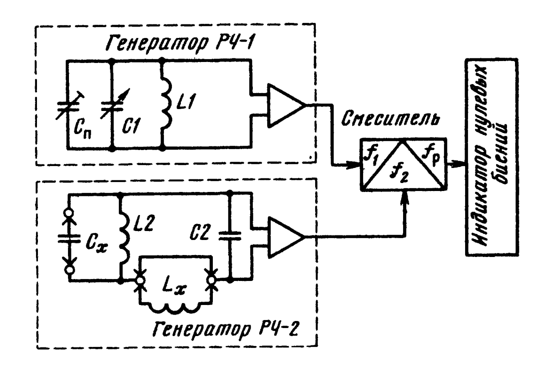


Рис. 1.25

Измеряемый конденсатор C_x подключают параллельно конденсатору C2 колебательного контура генератора РЧ-2. Затем емкость конденсатора C1 изменяют на значение ΔC_1 до получения нулевых биений. Если L1 = L2, то $C_x = \Delta C_1$.

Для измерения индуктивности после подготовки прибора к работе перемычку снимают и подключают измеряемую катушку L_x. Затем увеличением емкости конденсатора C1 на значение ΔC_1 снова добиваются нулевых биений. Так как при этом $L_x = (L_1/C_2)\Delta C_1$, значения L_x можно отсчитывать по шкале конденсатора C1.

Измерение емкости электролитических конденсаторов. Измерение производят низкочастотным измерителем емкостей (например, мостом типа Е12-2). Электролитический конденсатор C_x подключают к измерителю емкости по схеме, изображенной на рис. 1.26. Разделительный конденсатор $C_р$ (бумажный или металлобумажный) должен иметь большие емкость и сопротивление постоянному току. Для уменьшения погрешности измерения нужно, чтобы выполнялись условия $C_р \geqslant 0{,}1C_x$; $R_1 \geqslant 3200/(fC_x)$; $U_{C\,ном} > (U + U_{mп})$, где R_1 — сопротивление развязывающего резистора, кОм; f — частота напряжения, возникающего на измеряемом конденсаторе C_x при подключении его к измерителю емкости, Гц; C_x — емкость измеряемого конденсатора, мкФ; $U_{C\,ном}$ — номинальное напряжение электролитического конденсатора, В; $U_{mп}$ — амплитуда переменной составляющей напряжения на измеряемом конденсаторе, В.

Измеряемая емкость $C_x = C_рC_и/(C_р - C_и)$, где $C_и$ — показание измерителя емкости.

Емкость электролитического конденсатора может быть измерена косвенно и с помощью вольтметра переменного тока, если электролитиче-

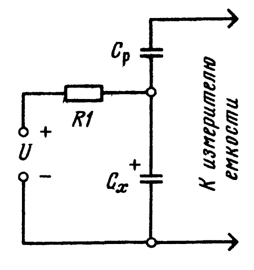


Рис. 1.26

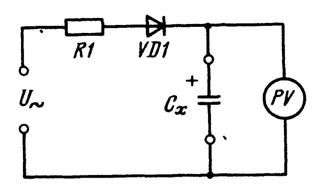


Рис. 1.27

ский конденсатор включить в цепь пульсирующего тока (рис. 1.27). Поскольку для переменной составляющей пульсирующего тока конденсатор C_x имеет емкостное сопротивление $X_C = 1/(\omega C_x)$, шкала вольтметра (при фиксированной амплитуде напряжения $U_{\sim}$, питающего цепь конденсатора C_x) может быть градуирована в единицах емкости. В качестве источника напряжения $U_{\sim}$ может быть использована промышленная сеть (см. рис. 1.31).

Основные технические характеристики приборов для измерения индуктивностей и емкостей приведены в табл. 1.13.

Таблица 1.13. **Приборы для измерения индуктивностей и емкостей**

Тип	Диапазон измерений	Основная погрешность
Е3-3	L:0,01...1000 Гн	±3 %
Е7-4	L:10 мкГ...100 Гн	±3 %
	С: 10 пФ...100 мкФ	±3 %
Е7-5А	L : 0,05 мкГ... 100 мГн	±2,5 %
	С : 1...5000 пФ	±5 %
Е8-5	С : 10 пФ...10 мкФ	±(0,001+0,5 пФ+ +1 ед. сч.)
		±(0,002+1 ед. сч.)

Среди радиолюбителей значительной популярностью пользуются измерители L и C мостового типа с простейшими индикаторами баланса — головными телефонами.

Цифровой измеритель сопротивлений и емкостей

Упрощенная структурная схема такого измерителя приведена на рис. 1.28, а временные диаграммы напряжений в его характерных точках даны на рис. 1.29. Принцип действия прибора основан на измерении временного интервала, равного постоянной времени цепи разрядки конденсатора через резистор, электронно-счетным методом. При измерении R_x берут образцовый конденсатор $C_{обр}$. Поскольку постоянная времени цепи разрядки конденсатора τ есть интервал времени, по истечении которого напряжение на конденсаторе изменяется в e раз, то интервал $\Delta t = \tau = R_x C_{обр}$ (рис. 1.29) формируется с помощью сравнивающего устройства СУ, на входы которого подаются напряжение с разряжающегося конденсатора $u_1 = U_0 e^{-(t-t_0)/\tau}$ (здесь t_0 — время начала разрядки; t — текущее время) и постоянное напряжение $U_2 = U_0/e$, снимаемое с прецизионного делителя напряжения R2, R3.

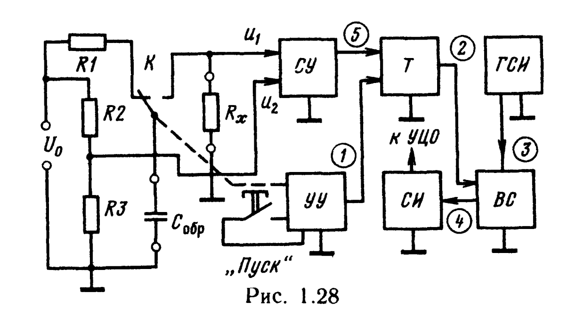


Рис. 1.28

Перед началом измерения конденсатор $C_{обр}$ контактами реле K (это может быть электронное реле) подключается к источнику напряжения U_0 и полностью заряжается до этого напряжения (рис. 1.28, 1.29). При нажатии кнопки «Пуск» управляющее устройство УУ переключает контакты реле K, благодаря чему начинается разрядка конденсатора $C_{обр}$ через резистор R_x. Одновременно с началом разрядки конденсатора (момент t_0) управляющее устройство выдает импульс (рис. 1.29, 1), которым триггер Т переводится в состояние 1 (рис. 1.29, 2). При этом открывается временной селектор ВС и на вход электронного счетчика СИ от генератора счетных импульсов ГСИ начинают поступать импульсы для счета (рис. 1.29, 3, 4). В момент t_1 напряжение u_1 на конденсаторе станет равным напряжению U_2 и сравнивающее устройство выдаст импульс (рис. 1.29, 5), которым триггер переведется в состояние 0. Счет импульсов прекратится (рис. 1.29, 2, 4).

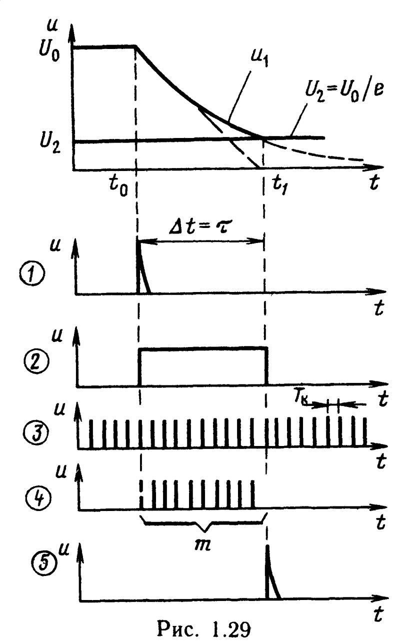


Рис. 1.29

За время $\Delta t = t_1 - t_0 = \tau$ счетчик подсчитал m импульсов, следовавших с периодом $T_к$ (рис. 1.29, 3). Так как при $u_1 = U_2$ $\Delta t = \tau = R_x C_{обр} = mT_к$ (с погрешностью $\pm T_к$), то $R_x = m(T_к/C_{обр}) = k_R m$.

Для удобства отсчета целесообразно выбирать параметры $T_к$ и $C_{обр}$ таким образом, чтобы выполнялось равенство $k_R = 10^n$ Ом/импульс, где $n = 0, \pm 1, \pm 2; \pm 3$.

Результат измерения высвечивается устройством цифрового отображения УЦО (иначе называемого цифровым дисплеем или дисплеем).

Рассмотренный прибор позволяет измерять и емкость конденсаторов. Для этого следует взять образцовый резистор $R_{обр}$ и подключить его к зажимам R_x, а измеряемый конденсатор C_x — к зажимам $C_{обр}$. Работа прибора при измерении C_x аналогична описанной. При этом $C_x = m(T_к/R_{обр}) = k_C m$.

При правильном выборе параметров элементов и узлов прибор может измерять R и C с погрешностями в доли процента.

1.4. КОМБИНИРОВАННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Электромеханические ампервольтомметры

В большинстве электромеханических вольтметров, амперметров и омметров применяются высокочувствительные измерители магнитоэлектрической системы. Поэтому целесообразно использовать один такой измеритель в единой конструкции для измерения напряжений, токов и сопротивлений. Такие комбинированные приборы получили название **ампервольтомметров** (табл. 1.14). Часто их называют также авометрами, тестерами или мультиметрами.

На рис. 1.30 в качестве примера приведена схема авометра типа Ц4325; его измеритель имеет ток предельного отклонения 24 мкА. Стабилитроны VD1 и VD2 предохраняют измеритель от перегрузок.

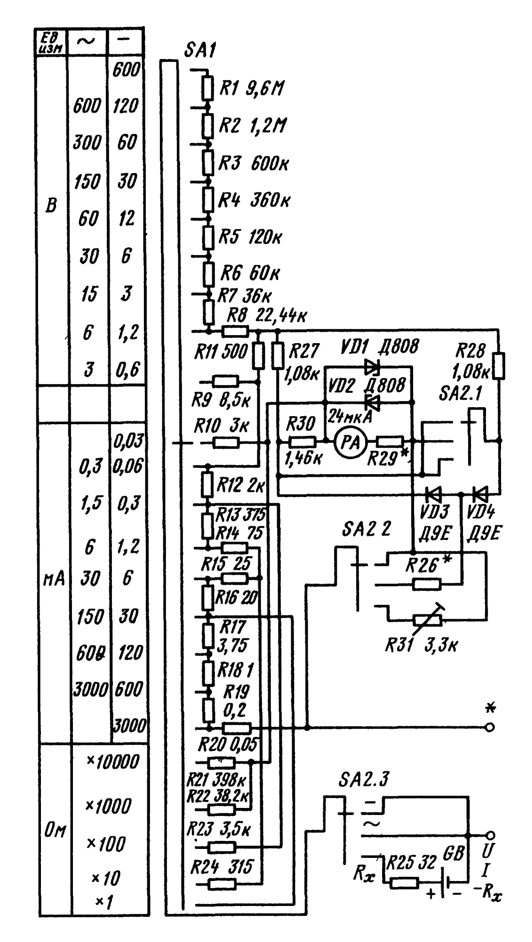


Рис. 1.30

Радиотестеры

Электронные вольтметры и омметры имеют общий узел — УПТ (см. рис. 1.6, 1.17), поэтому экономически выгодно строить комбинированные электронные приборы — вольтомметры. На базе вольтметра с УПТ может быть также создан комбинированный прибор (радиотестер) для измерения напряжений, сопротивлений, емкостей и индуктивностей. Рассмотрим радиотестер ВК7-3, схема которого представлена на рис. 1.31. При измерении сопротивлений здесь используется цепь, подобная изображенной на рис. 1.17, *б*. Аналогичная цепь применена и при измерении емкостей и индуктивностей, но при этом цепь образцовый резистор R_0 — измеряемая реактивность (C_x или L_x) питается переменным напряжением от силового трансформатора прибора.

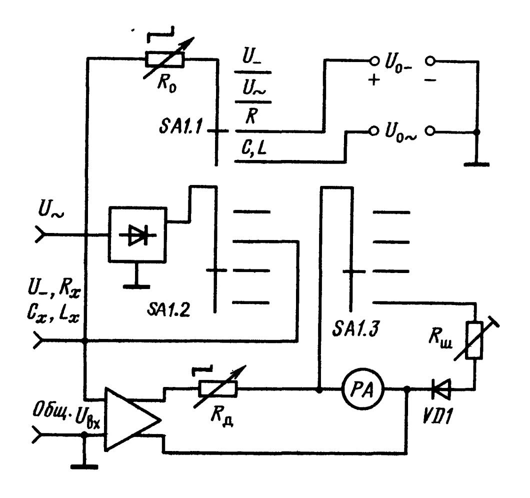


Рис. 1.31

Таблица 1.14. **Ампервольтомметры**

Характеристика	Тип					
	Ц56	Ц57	Ц430	Ц4312	Ц4325	Ц4341
Напряжение постоянное $U_=$, В	0,075; 0,3; 1,5; 5; 15; 60; 150; 300; 600	0,075; 3; 7,5; 15; 30; 150; 300; 600	0,75; 3; 6; 15; 60; 150; 300; 600	0,075; 0,3; 7,5; 30; 60; 150; 300; 600; 900	0,6; 1,2; 3,6; 12; 30; 60; 120; 600	0,3; 1,5; 6; 30; 60; 150; 300; 900
Напряжение переменное $U_\sim$, В	0,3; 1,5; 7; 15; 60; 150	3; 7,5; 15; 30; 150; 300; 600	3; 6; 15; 60; 150; 300; 600	0,3; 1,5; 7,5; 30; 60; 150; 300; 600; 900	3; 6; 15; 30; 60; 150; 300; 600	1,5; 7,5; 30; 150; 300; 750
Ток постоянный $I_=$, мА	0,3; 1,5; 6; 15; 60; 150; 600; 1500; 6000	0,15; 3; 15; 60; 300; 1500	—	0,3; 1,5; 6; 15; 60; 150; 600; 1500; 6000	0,03; 0,06; 0,3; 1,2; 6; 30; 120; 600; 3000	0,06; 0,6; 6; 60; 600
Ток переменный $I_\sim$, мА	1,5; 6; 15; 60; 150; 600; 1500; 6000	3; 15; 60; 300; 1500	—	1,5; 6; 15; 60; 150; 600; 1500; 6000	0,3; 1,5; 6; 30; 150; 600; 3000	0,3; 3; 30; 300
Сопротивление постоянному току, МОм	3; 30; 300; 3000	3; 30; 300; 3000	3; 30; 300; 3000	0,2; 3; 30; 300; 3000	0,5; 5; 50; 500; 5000	0,5; 5; 50; 500; 5000
$I_{КБО}$, $I_{ЭБО}$, $I_{КЭR}$, мкА	—	—	—	—	—	60
$h_{21Э}$	—	—	—	—	—	70...350
Емкость, мкФ	—	0,3	—	—	—	1
Рабочая область частот, Гц	45...10 000	45...10 000	60...10 000	45...10 000	45...20 000	45...15 000
Основная приведенная погрешность, %, при измерении:						
$U_=$	±1	±1,5	±2,5	±1	±2,5	±2,5
$U_\sim$	±1,5	±2,5	±2,5	±1,5	±4	±4
$I_=$, $I_{КБО}$, $I_{ЭБО}$, $I_{КЭR}$	±1	±1,5	—	±1	±2,5	±2,5
$I_\sim$	±1,5	±2,5	—	±1,5	±4	±4
$R_=$	±1	+1,5	±2,5	±1	±2,5	±2,5
$h_{21Э}$	—	—	—	—	—	±5
Входное сопротивление, кОм/В, при измерении:						
$U_=$	3,3	6,7	8	0,67	20	20
$U_\sim$	—	—	—	0,67	4	2

Напряжение на измеряемой реактивности пропорционально модулю комплексного сопротивления этой реактивности:

$$U_{вх} = [U_{0\sim}/(R_0+z_x)]\,z_x.$$

Следовательно, шкалы измерителя магнитоэлектрической системы РА можно проградуировать (по образцовым конденсаторам и катушкам) в единицах измерения C и L.

При активном сопротивлении обмотки катуш-

Таблица 1.15. **Комбинированные электронные приборы (радиотестеры)**

Тип	Диапазон измерений	Погрешность измерения, %*	Рабочая область частот	$R_{вх}$	$C_{вх}$
ВК2-17	$U_=$: 1 мВ...1000 В R: 10 Ом...2 МОм	$\pm(0{,}15+0{,}05U_{пред}/U_x)$ $\pm(0{,}2+0{,}05R_{пред}/R_x)$	Постоянный ток	0,18...10,05 МОм	—
В7-15	$U_=$: 30 мВ...1 кВ	±2,5	То же	15 МОм	—
	$U_\sim$: 220 мВ...1 кВ	±(2,5...10,0)	20 Гц... 700 МГц	3 МОм...50 кОм	4...1,8 пФ
	R : 10 Ом...1000 МОм	±2,5; ±4,0	Постоянный ток	—	—
В7-16	$U_=$: 1...1000 В	$\pm(0{,}05+$ $+0{,}05U_{пред}/U_x)$	То же	10 МОм	—
	$U_\sim$: 1...1000 В	$\pm(0{,}5\pm0{,}02U_{пред}/U_x)$	20 Гц... 100 кГц	1 МОм	—
	R : 1 кОм...10 МОм	$\pm(0{,}2+0{,}02R_{пред}/R_x)$	Постоянный ток	—	—
В7-17	$U_=$: 3 мВ...300 В	±(2,5...4)	То же	30 МОм	—
	$U_\sim$: 200 мВ...300 В	±(4...25)	20 Гц... 100 МГц	75 кОм...5 МОм	20 пФ; 1,5 пФ
	R : 10 Ом...1000 МОм	±2,5	Постоянный ток	—	—

* U_x, R_x — значения измеряемой величины, $U_{пред}$, $R_{пред}$ — конечные значения диапазона показаний

ки, соизмеримом с ее реактивным сопротивлением, измеряемая индуктивность более точно может быть вычислена по формуле

$$L_x=\sqrt{\left(\frac{U_{вх}}{U_{0\sim}-U_{вх}}\frac{R_0}{2\pi f}\right)^2-\left(\frac{R_x}{2\pi f}\right)^2}.$$

Характеристики некоторых комбинированных электронных измерительных приборов промышленного производства приведены в табл. 1.15.

Измеритель RLC «Спутник радиолюбителя»

В комплект измерительных приборов «Спутник радиолюбителя» входят измеритель RLC, звуковой генератор и блок питания. Габаритные размеры каждого блока комплекта — 220×140×110 мм. Схемные решения блоков весьма просты, и приборы легко могут быть повторены радиолюбителями.

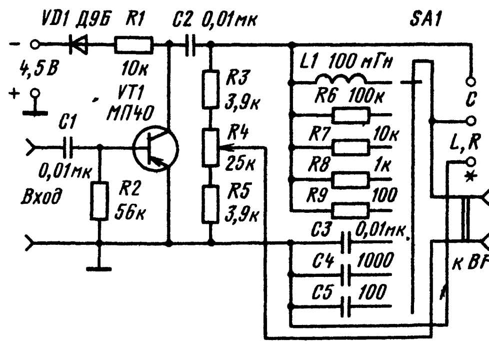


Рис. 1.32

Измеритель RLC собран по мостовой схеме (рис. 1.32) и питается от внешнего источника (генератора) напряжением 0,5...0,7 В, частотой 1,5 кГц. Он позволяет измерять индуктивности от 20 до 500 мГн, емкости от 20 пФ до 0,05 мкФ и сопротивления от 20 Ом до 500 кОм. Погрешность измерения не превышает ±20 %. Балансировка моста осуществляется потенциометром R4, снабженным шкалой. Искомое значение равно произведению показания по шкале потенциометра R4 на номинал образцового элемента плеча моста. В цепь питания моста включен усилитель, выполненный на транзисторе VT1. Он повышает чувствительность измерителя и уменьшает воздействие моста на внешний генератор, подключаемый к гнездам «Вход».

При изготовлении прибора сопротивления резисторов, емкости конденсаторов и индуктивность катушки не должны отличаться от номиналов, указанных на схеме, более чем на ±5 %.

1.5. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Проверка диодов

Испытание диодов сводится к проверке их на обрыв и к измерению прямых $I_{пр}$ и обратных $I_{обр}$ токов по схемам, приведенным на рис. 1.33. Результаты измерений зависят от приложенных к диодам напряжений. При выборе микроамперметра и шунтирующего резистора $R_ш$ исходят из того, что для большинства универсальных диодов $U_{пр}=1...2$ В, $I_{пр}$ может быть от единиц до сотен миллиампер, а $I_{обр}$ — от долей до нескольких сотен микроампер. Для выпрями-

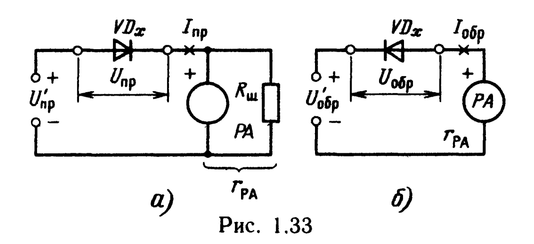


Рис. 1.33

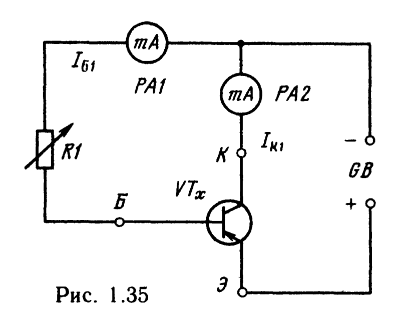


Рис. 1.35

тельных диодов $U_{пр}=0{,}5...1$ В, $I_{пр}$ достигает нескольких сотен миллиампер, а $I_{обр}$ — нескольких микроампер.

Для уменьшения погрешности измерения прямого и обратного токов необходимо выполнение условий

$$U'_{пр}=U_{пр}+I_{пр}r_{PA};\ U'_{обр}=U_{обр}+I_{обр}r_{PA},$$

где r_{PA} — сопротивление измерителя тока.

Измерение параметров биполярных транзисторов

При проверке биполярных транзисторов радиолюбители обычно ограничиваются измерением обратного тока коллектора $I_{КБО}$ (схема измерения приведена на рис. 1.34, *а*) или обратного тока коллектор — эмиттер $I_{КЭО}$ либо $I_{КЭR}$ (рис. 1.34, *б*) и одного из коэффициентов передачи тока.

При измерении $I_{КЭR}$ между эмиттером и базой транзистора включают резистор R, если это предусмотрено условиями измерения. Полезно измерять обратный ток эмиттера $I_{ЭБО}$ (рис. 1.34, *в*). Однако при такой проверке высокочастотных и других транзисторов с диффузионным эмиттерным переходом необходимо проявлять особую осторожность: даже небольшое превышение напряжения на этом переходе над допустимым может привести к выходу транзистора из строя.

Коэффициент передачи тока транзистора в режиме малого сигнала $h_{21э}$ можно измерять с помощью устройства, выполненного по схеме на рис. 1.35. Для этого, изменяя сопротивление резистора R1, устанавливают указанный в соответствующей таблице § 1.5 ток $I_{К1}$ и записывают значение тока $I_{Б1}$. Затем с помощью резистора R1 несколько увеличивают эти токи, записывают их новые значения $I_{К2}$, $I_{Б2}$ и вычисляют коэффициент передачи тока по формуле

$$h_{21э}=(I_{К2}-I_{К1})/(I_{Б2}-I_{Б1}).$$

Для уменьшения погрешности измерения нужно брать источник тока с малым внутренним сопротивлением.

Статический коэффициент передачи тока

$$h_{21Э}=(I_К-I_{КБО})/(I_Б+I_{КБО})\approx I_К/I_Б,$$

так как обычно $I_{КБО}\ll I_К$, $I_{КБО}\ll I_Б$.

Статический коэффициент передачи тока $h_{21Э}$ можно измерить с помощью устройства по схеме на рис. 1.36, где $R_1\gg r_{бэ}$ и $R_2\gg r_{бэ}$ ($r_{бэ}$ — сопротивление участка база — эмиттер транзистора). Так как $I_Б\approx U_{GB}/R_2=\text{const}$, то $h_{21Э}\approx\approx(R_2/U_{GB})I_К=KI_К$, где K — постоянный множитель; U_{GB} — напряжение источника питания.

Резистор R2 должен иметь сопротивление

$$R_2=h_{21Э\ пр}U_{GB}/I_{PA},$$

где I_{PA} — ток предельного отклонения миллиамперметра; $h_{21Э\ пр}$ — рассчитываемый предел измерения статического коэффициента передачи тока.

Приборами трудно определить y- и z-параметры транзисторов. Однако для расчета электронных схем часто удобнее применять именно эти, особенно y-параметры. Наиболее просто ап-

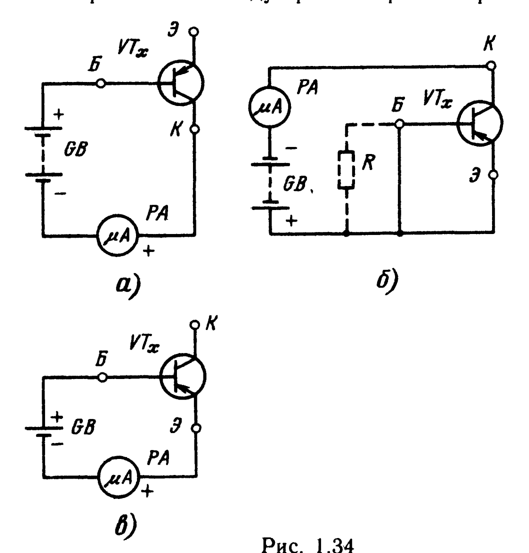


Рис. 1.34

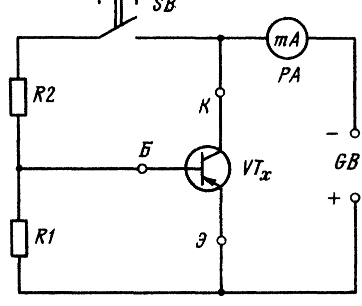


Рис. 1.36

паратурно измерить h-параметры транзисторов (о чем речь шла ранее), а затем, при необходимости, y- и z-параметры могут быть вычислены через h-параметры.

Формулы перехода между системами параметров даны в табл. 1.16, где Δ_i — определитель соответствующей системы параметров.

Таблица 1.16. **Формулы перехода между параметрами транзисторов**

	$\|z\|$	$\|y\|$	$\|h\|$
$\|z\|$	$\begin{matrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{y_{22}}{\Delta_y} & -\frac{y_{12}}{\Delta_y} \\ \frac{y_{21}}{\Delta_y} & \frac{y_{11}}{\Delta_y} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{\Delta_h}{h_{22}} & \frac{h_{12}}{h_{22}} \\ \frac{h_{21}}{h_{22}} & \frac{1}{h_{22}} \end{matrix}$
$\|y\|$	$\begin{matrix} \frac{z_{22}}{\Delta_z} & -\frac{z_{12}}{\Delta_z} \\ -\frac{z_{21}}{\Delta_z} & \frac{z_{12}}{\Delta_z} \end{matrix}$	$\begin{matrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{1}{h_{11}} & -\frac{h_{12}}{h_{11}} \\ \frac{h_{21}}{h_{11}} & \frac{\Delta_h}{h_{11}} \end{matrix}$
$\|h\|$	$\begin{matrix} \frac{\Delta_z}{z_{22}} & \frac{z_{12}}{z_{22}} \\ -\frac{z_{21}}{z_{22}} & \frac{1}{z_{22}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{1}{y_{11}} & -\frac{y_{12}}{y_{11}} \\ \frac{y_{21}}{y_{11}} & \frac{\Delta_y}{y_{11}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{matrix}$

Испытатель диодов и биполярных транзисторов (рис. 1.37). Он позволяет измерять $I_{КБО}$, $I_{ЭБО}$, $I_{КЭR}$ и $h_{21Э}$ биполярных транзисторов структуры p-n-p и n-p-n, проверять их «на генерацию» на низкой частоте, а также измерять $I_{пр}$ и $I_{обр}$ диодов (при напряжении 4 В). Прибор также может служить источником напряжения звуковой частоты.

При указанных в схеме номиналах элементов можно измерять неуправляемые токи транзисторов $I_{КБО}$, $I_{ЭБО}$, $I_{КЭR}$ и обратные токи диодов до 200 мкА, прямые токи диодов до 20 мА и коэффициент $h_{21Э}$ до 200. Микроамперметр PA прибора имеет $I_{PA}=200$ мкА, $r_{PA}=650$ Ом. При другом значении r_{PA} или при необходимости расширить пределы измерения $h_{21Э}$ транзисторов или $I_{пр}$ диодов нужно изменить сопротивление шунтирующего резистора R3.

Магнитопровод трансформатора T1 Ш9×10; обмотка I содержит 100+20 витков провода ПЭЛ 0,25; обмотка II — 1600 витков провода ПЭЛ 0,08.

Режим проверки устанавливается с помощью переключателя SA3. Положение «=» соответствует режиму постоянного тока (измерение $I_{КБО}$, $I_{ЭБО}$, $I_{КЭR}$ транзисторов и $I_{пр}I_{обр}$ диодов), а положение «~» при замкнутом выключателе SA4 — низкочастотному генераторному режиму.

Испытываемый диод подключают к зажимам Э и К в соответствующей полярности. Для измерения прямого тока диода выключатель SA2 должен быть замкнут, а при измерении обратного тока разомкнут.

Для измерения токов $I_{КБО}$, $I_{ЭБО}$, $I_{КЭR}$ транзистор подключают к прибору в соответствии со схемами, изображенными на рис. 1.34. При испытании транзисторов структуры p-n-p переключатель SA1 (см. рис. 1.37) должен находиться в нижнем (по схеме) положении, а при испытании транзисторов структуры n-p-n — в верхнем.

Статический коэффициент передачи тока $h_{21Э}$ измеряют при подключении транзистора по схеме на рис. 1.36 при замкнутом переключателе SA2 (см. рис. 1.37). При этом резистор R3 шунтирует микроамперметр, что расширяет его предел измерения до 20 мА. Так как сопротивление резистора R2=39 кОм, то для всех испытываемых транзисторов $I_Б \approx 0{,}1$ мА и верхняя предельная отметка шкалы измерителя соответствует значению $h_{21Э}=200$.

Для испытания транзистора «на генерацию» на низкой частоте переключатель SA3 необходимо поставить в положение «~» и замкнуть выключатель SA4 (переключатель SA2 должен быть разомкнут). При этом образуется генератор ЗЧ с автотрансформаторной связью. Генерации добиваются при малом сопротивлении резистора R5.

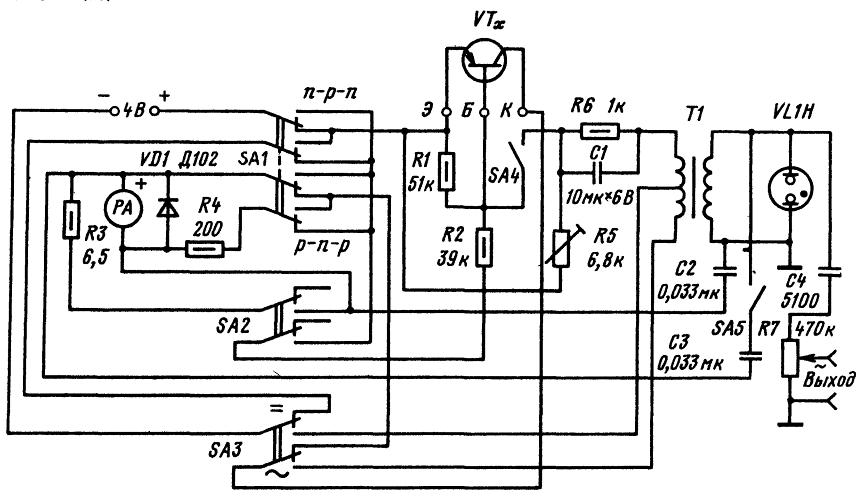


Рис. 1.37

Индикаторами генерируемого напряжения являются неоновая лампа VL1H и микроамперметр, шунтированный диодом (при замкнутом выключателе SA5). Регулировкой сопротивления резистора R5 можно ориентировочно оценить коллекторный ток транзистора в генераторном режиме и сравнить однотипные транзисторы по этому параметру (бóльшему сопротивлению резистора R5, при котором происходит срыв генерации, соответствует меньший коллекторный ток).

Для получения от прибора напряжения ЗЧ к нему необходимо подключить заведомо исправный транзистор со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21Э}=30...40$. При этом на выходе можно получить богатое гармониками напряжение до 30 В (выключатель SA5 разомкнут) или близкое к синусоидальному напряжение до 15 В (выключатель SA5 замкнут).

Измерение параметров полевых транзисторов

Основными параметрами полевых транзисторов, измеряемыми в любительских условиях, являются начальный ток стока $I_{С\ нач}$, напряжение отсечки $U_{ЗИ\ отс}$ и крутизна вольт-амперной характеристики S.

Параметры полевого транзистора с p-n переходом и каналом типа p могут быть определены с помощью установки, схема которой приведена на рис. 1.38. При измерении параметров полевого транзистора с p-n переходом и каналом типа n полярности источников питания GB1, GB2 и измерительных приборов нужно поменять на обратные. Диапазоны показаний измерительных приборов выбираются в соответствии с ожидаемыми токами и напряжениями.

Крутизну характеристики S определяют как отношение изменения тока стока $\Delta I_С$ [мА] к вызвавшему его изменению напряжения между затвором и истоком $\Delta U_{ЗИ}$ [В]:

$$S=\Delta I_С/\Delta U_{ЗИ}.$$

Крутизна S зависит от напряжения затвор — исток $U_{ЗИ}$ и имеет максимальное значение S_{max} при $U_{ЗИ}=0$ (при этом ток стока максимален и равен $I_{С\ нач}$).

Напряжение затвор — исток $U_{ЗИ}$, при котором ток стока достигает наименьшего значения (близкого к нулю), называется напряжением отсечки $U_{ЗИ\ отс}$.

Если известны или измерены значения $I_{С\ нач}$ и $U_{ЗИ\ отс}$, то крутизну S можно также приблизительно оценить по формулам

$$S_{max}\approx(0,4...0,5)I_{С\ нач} \text{ или } S\approx S_{max}(1-\sqrt[3]{U_{ЗИ}/U_{ЗИ\ отс}}),$$

где $U_{ЗИ}$, $U_{ЗИ\ отс}$, В; S и S_{max} — мА/В; $I_{С\ нач}$, мА.

Проверка исправности микросхем

Исправность цифровых (логических) микросхем характеризуется соответствием ее динамических и статических параметров паспортным данным.

Динамические параметры цифровых микросхем обычно измеряют при разработке новых типов микросхем, выходном и входном контроле на заводах-потребителях и в некоторых других случаях. В радиолюбительской практике провести такие измерения очень трудно и дорого, поскольку они требуют сложной автоматизированной ИИС с включением в нее измерителей интервалов времени, осциллографов и некоторых других столь же сложных и дорогих приборов. Поэтому радиолюбителю целесообразно при конструировании изделий использовать паспортные динамические параметры микросхемы, включаемой в конструкцию, а о ее годности судить по результатам контроля ее статистических параметров. Трудности создания унифицированного прибора для проверки исправности статических параметров цифровых микросхем связаны с большим конструктивным и функциональным разнообразием этих схем.

Промышленность выпускает небольшое число типов испытателей цифровых микросхем для определения их исправности в статическом режиме. Неавтоматические испытатели цифровых микросхем обычно содержат: несколько регулируемых источников постоянного тока для запитывания соответствующих цепей проверяемой схемы; поле программирования (своеобразный штепсельный коммутатор), посредством которого осуществляется подача необходимых напряжений (токов) на соответствующие выводы микросхем; источники калиброванных уровней высокого и низкого напряжений (0 и 1); контактные головки с набором стандартных разъемов, обеспечивающих подключение выводов различных типов микросхем к определенным гнездам поля программирования; вольтметр для измерения напряжения на выводах микросхем напряжений высокого и низкого уровней (0 и 1); системы переключателей, посредством которых изменяют полярности и значения подводимых к микросхемам напряжений.

Жесткие программы проверки конкретных типов микросхем (с указанием типов контактных головок, последовательностей замыканий контактов поля программирования, установки и измерения напряжений на электродах микросхем) приводятся обычно в инструкции по применению испытателя микросхем. Если при такой проверке все значения напряжений (токов) оказываются в соответствии с указанными в инструкции, микросхема признается исправной. В противном случае — неисправной.

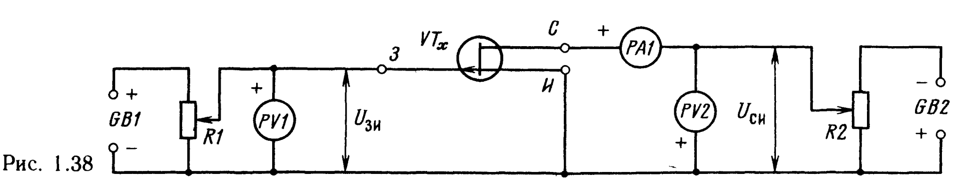


Рис. 1.38

1.6. ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ И ДЛИНЫ ВОЛНЫ

Методы измерения частоты и длины волны

Конденсаторный метод. Принцип измерения частоты этим методом иллюстрируется рис. 1.39. Конденсатор C периодически подключается переключателем SA к источнику напряжения U и заряжается через него. Разрядка конденсатора происходит через измеритель PA магнитоэлектрической системы. Если переключение конденсатора C осуществлять с измеряемой частотой f_x и обеспечить постоянство напряжений, до которых заряжается (U_1) и разряжается (U_2) конденсатор, то через измеритель будет протекать ток разрядки, среднее значение которого $I_0 = Cf_x(U_1 - U_2)$.

Этот метод использован в конденсаторном частотомере (рис. 1.40), где роль переключателя выполняет транзистор VT1, который в отрицательные полупериоды измеряемого сигнала открыт и подключает один из конденсаторов C2—C5 к батарее. При этом конденсатор заряжается по цепи: плюс батареи — эмиттер — коллектор транзистора — конденсатор — открытый диод VD1 — минус батареи. В течение положительного полупериода сигнала транзистор закрыт и конденсатор разряжается по цепи левая (по схеме) обкладка конденсатора — резистор R3 — измеритель PA — открытый диод VD2 — правая обкладка конденсатора. Так как постоянные времени цепей зарядки и разрядки конденсатора много меньше полупериода исследуемого сигнала, среднее значение тока, протекающего через измеритель, $I_0 = C_{2 \ldots 5} U f_x$, где U — напряжение батареи. Следовательно, показания измерителя PA пропорциональны измеряемой частоте и шкала частотомера линейна. Для устранения погрешности, возникающей при изменении уровня входного сигнала, напряжение измеряемой частоты должно быть не менее 0,5 В.

В частотомере применен измеритель с током полного отклонения 50 мкА. Диапазон измеряемых частот 0...100 кГц разбит на поддиапазоны с верхними пределами 0,1; 1; 10; 100 кГц. Для повышения точности измерения необходима предварительная калибровка прибора реостатом R4 на предельных частотах поддиапазонов (с помощью внешнего измерительного генератора), а также использование в приборе конденсаторов с малыми отклонениями номиналов от указанных в схеме.

Гетеродинный метод. Этот метод измерения основан на сравнении измеряемой частоты f_x с точно известной частотой образцового генератора $f_г$. О равенстве частот судят по нулевым биениям, т. е. по пропаданию звука в телефоне-индикаторе или по показаниям вольтметра-индикатора нулевых биений.

В состав гетеродинного частотомера обычно входят перестраиваемый маломощный генератор (гетеродин), смеситель и индикатор нулевых биений. Простой гетеродинный частотомер (рис. 1.41) предназначен для измерения частот от 50 кГц до 30 МГц. Для работы

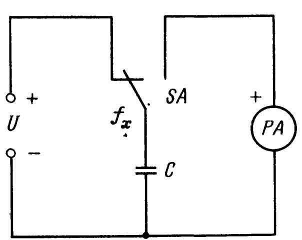


Рис. 1.39

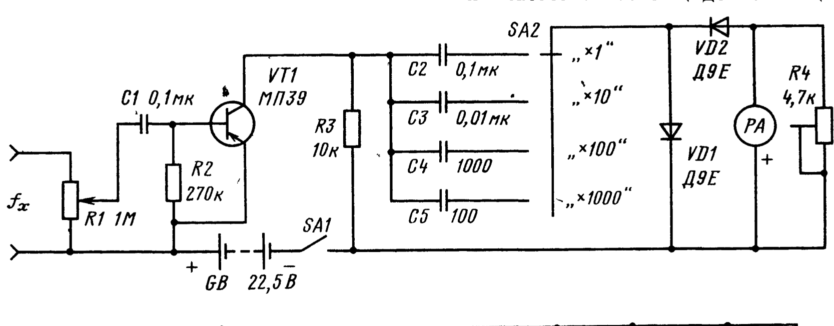


Рис. 1.40

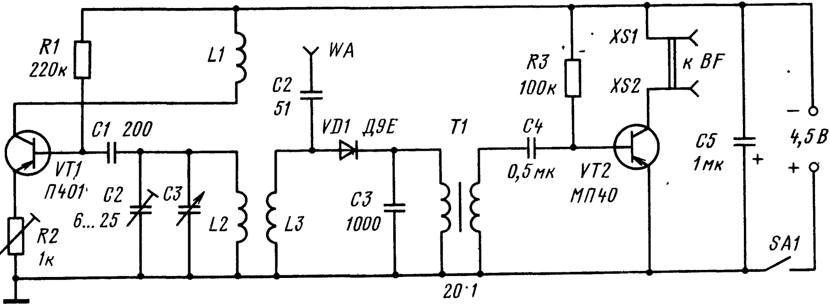


Рис. 1.41

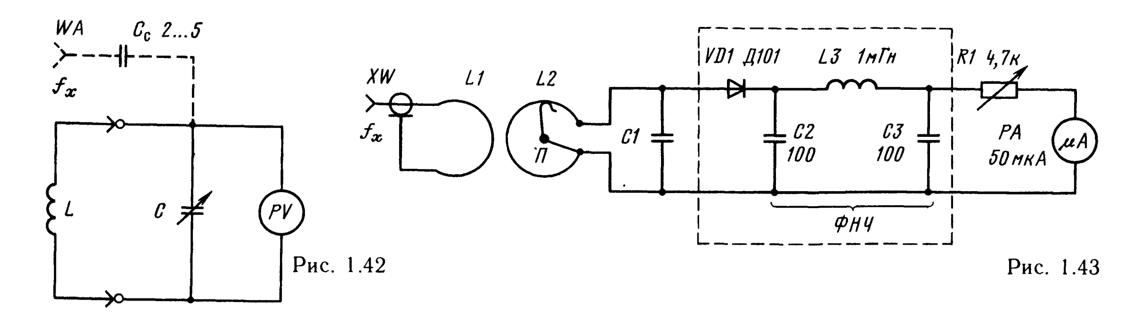


Рис. 1.42

Рис. 1.43

в столь широком диапазоне используются гармоники частоты гетеродина, выполненного на транзисторе VT1. Измеряемый сигнал подается на зажим WA. Роль смесителя выполняет диод VD1. Индикатором нулевых биений служат головные телефоны BF с УЗЧ на транзисторе VT2. Погрешность измерения частоты определяется погрешностью градуировки шкалы частот гетеродина и его нестабильностью.

Для определения частоты сигнала, если номер гармоники n неизвестен, нужно добиться нулевых биений измеряемой частоты f_x при двух соседних значениях основных частот $f_{г1}$ и $f_{г2}$ гетеродина. Тогда $f_x = f_{г1}n = f_{г2}(n+1)$; $n = f_{г2}/(f_{г1} - f_{г2})$.

Следовательно, $f_x = f_{г1}n = f_{г1}f_{г2}/(f_{г1} - f_{г2})$.

Резонансный метод. Во всем диапазоне радиочастот для измерения частоты широко используют резонансные свойства электрических цепей.

Резонансные частотомеры (или волномеры) состоят из колебательной цепи, настраиваемой в резонанс на измеряемую частоту f_x, и индикатора резонанса PV (рис. 1.42).

В резонансном волномере к исследуемому источнику сигналов (например, к контуру генератора) приближают катушку индуктивности колебательного контура волномера или соединяют его через конденсатор небольшой емкости C_C. Контур волномера настраивают в резонанс изменением емкости образцового конденсатора C. Момент резонанса определяют по максимальному показанию электронного вольтметра переменного тока PV с большим входным сопротивлением и малой входной емкостью. При известной индуктивности катушки L частота исследуемого источника сигнала $f_x = 159/\sqrt{LC}$, где f_x, МГц; L, мГн; C, пФ.

Прибор обычно снабжают градуировочными графиками $f_x = F(C)$ или таблицами, которые изготавливают при градуировке.

Резонансный волномер диапазона УКВ представлен на рис. 1.43. Индуктивность контура L2 представляет собой кольцо или шлейф из толстого медного провода. Резонансная частота контура определяется размерами кольца и положением ползунка П, а также емкостью конденсатора C1. Диод VD1, ФНЧ (C2C3L3), резистор R1 и микроамперметр магнитоэлектрической системы образуют индикатор резонанса; катушка L1 — виток связи.

Возможны иные конструкции резонансного контура волномера диапазона УКВ. Например, индуктивность контура можно изменять введением в катушку индуктивности диамагнитного сердечника или перестраивать его переменным конденсатором малой емкости при постоянной индуктивности контура.

В диапазоне УКВ для измерения длины волны применяют также двухпроводные и коаксиальные измерительные линии, разомкнутые или короткозамкнутые на одном конце. Энергия сигнала, длина волны которого измеряется, подводится к другому концу линии.

Разомкнутая (или замкнутая) линия характеризуется тем, что в ней устанавливаются стоячие волны напряжений и тока. Расстояние между ближайшими минимумами (или максимумами) напряжения и тока равно полуволне ($\lambda/2$) сигнала, подведенного к линии. Места расположения этих минимумов (или максимумов) находят с помощью перемещаемых вдоль линии простейших выпрямительных вольтметров (аналогичных вольтметру, изображенному на рис. 1.43), которые имеют с измерительной линией индуктивную или емкостную связь.

Метод дискретного счета. Приборы, реализующие этот метод — электронно-счетные частотомеры (ЭСЧ), работают по алгоритму $f_x = m/\Delta t_к$, где f_x — значение измеряемой частоты, m — число полных циклов изменения измеряемого сигнала за калиброванный интервал времени $\Delta t_к$.

Структурная схема ЭСЧ дана на рис. 1.44, а временные диаграммы, поясняющие работу прибора при измерении частоты периодического непрерывного сигнала, приведены на рис. 1.45. Из-

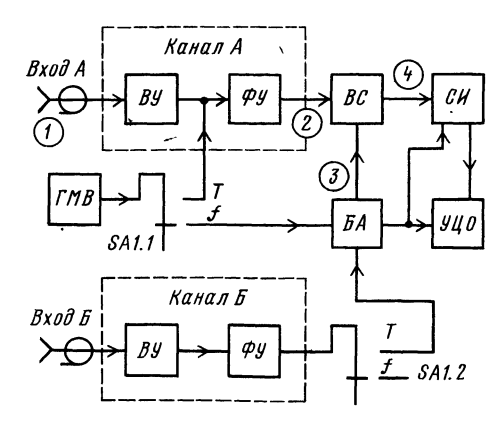


Рис. 1.44

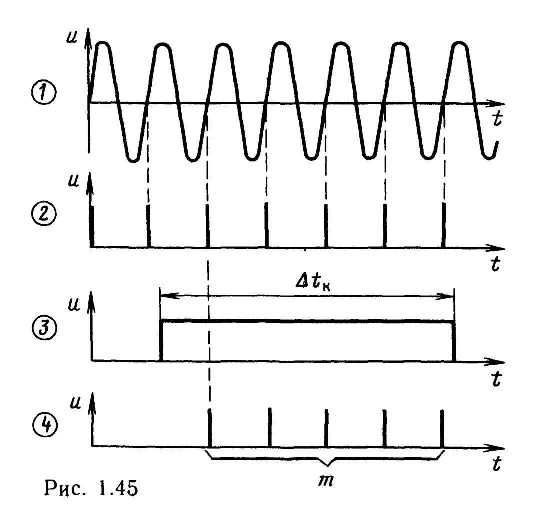


Рис. 1.45

меряемый сигнал 1 подают на вход А. Входное устройство ВУ канала А позволяет изменять уровень измеряемого напряжения. Формирующее устройство ФУ формирует нормированные импульсы 2 при переходе измеряемого напряжения от минуса к плюсу через нуль. Генератор меток времени ГМВ состоит из кварцевого генератора и делителей частоты и предназначен для создания в блоке автоматики БА импульса 3 калиброванной длительности $\Delta t_к$. За время действия импульса 3 через временный селектор ВС проходят на счетчик импульсов СИ m импульсов. Устройство цифрового отсчета УЦО представляет результат измерения частоты в виде десятичного числа.

Абсолютная предельная погрешность измерения частоты при этом $\Delta_f = \pm(\delta_{кв} f_x + 1/\Delta t_к)$, где $\delta_{кв}$ — нестабильность частоты кварцевого генератора ГМВ.

При измерении низких частот основной вес в погрешности ЭСЧ имеет погрешность дискретности, равная $\pm(1/\Delta t_к)$ и могущая составлять несколько процентов. Поэтому обычно низкие частоты измеряют ЭСЧ косвенно, через измерение периода сигнала $T_x : f_x = 1/T_x$. С этой целью переключатель SA1 ставят в положение Т, а измеряемый сигнал подают на «Вход Б», и блок автоматики формирует импульс временных ворот длительностью T_x. С ГМВ на ФУ канала А поступает высокочастотный сигнал с периодом $\Delta t_к$. Сформированные импульсы с периодом $\Delta t_к$ поступают на СИ во время действия импульса временных ворот длительностью T_x. Очевидно, что $T_x = (m \pm 1)\Delta t_к$ и при большом числе m будет найден с высокой точностью, а следовательно, и частота f_x будет определена весьма точно.

Помимо измерения частоты и периода ЭСЧ позволяет измерять отношение частот, вести подсчет числа импульсов за калиброванный или произвольный отрезок времени. Электронно-счетный частотомер, снабженный аналого-цифровым преобразователем типа напряжение — частота, позволяет измерять и напряжения.

Осциллографические методы измерения частоты изложены в § 1.8.

Частотомеры промышленного изготовления

Основные технические характеристики некоторых частотомеров промышленного изготовления приведены в табл. 1.17.

Гетеродинные индикаторы резонанса

Гетеродинные индикаторы резонанса (ГИР) широко применяются в радиолюбительской практике при налаживании радиоприемных и радиопередающих устройств Их можно использовать как маломощный источник сигналов, частотомер, индикатор напряженности поля, измеритель емкостей и индуктивностей Основой ГИР является маломощный генератор радиочастот, объединенный конструктивно с чувствительным вольтметром переменного тока или измерителем тока магнитоэлектрической системы Иногда ГИР входят в сложные комбинированные измерительные приборы.

Схема транзисторного ГИР на диапазон РЧ 4...30 МГц представлена на рис. 1.46. Катушка L1 выполнена на каркасе ∅5 мм и содержит 5+15 витков, намотанных в один слой проводом ПЭЛ 0,29. Внутрь каркаса введен сердечник М600НН диаметром 2,8 и длиной 12 мм Конденсатор С2 — двухсекционный, секции соединены параллельно. Для расширения диапазона

Таблица 1.17. **Частотомеры**

Тип	Диапазон измерений	Погрешность измерения	Чувствительность (напряжение или мощность на входе)	Метод измерения
Ч3-7	10 Гц...500 кГц	±2 %	0,1...300 В	Конденсаторный
Ч3-38	0,1 Гц...50 МГц; 50...200 МГц	$\pm(2\cdot10^{-8}+1$ ед. сч.)	1 мВ...10 В	Электронно-счетный
Ч3-41	10 Гц...200 МГц	$\pm(5\cdot10^{-9}+1$ ед. сч.)	0,1. .20 В	То же
Ч3-57	0,1 Гц...100 МГц	$\pm(2\cdot10^{-8}+1$ ед. сч.)	0,1...10 В	»
Ч4-1	0,125...20 МГц	±400 Гц	1 В	Гетеродинный
Ч4-9	20 МГц...1 ГГц	$\pm5\cdot10^{-6}$	0,05 В	»
Ч2-1А	0,8...12 МГц	±0,25 %	1 мВт	Резонансный
Ч2-2	40. 180 МГц	±0,5 %	0,8 мВт	»

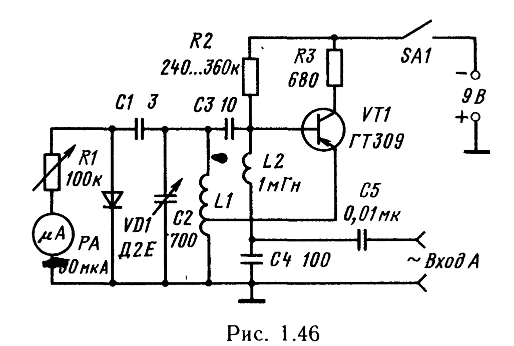


Рис. 1.46

измерений можно изготовить несколько сменных катушек индуктивности.

Наличие колебаний в контуре и их относительную амплитуду определяют простейшим вольтметром переменного тока, в который входят диод VD1, микроамперметр μA и резистор R1. Вольтметр подключен к контуру через конденсатор малой емкости C1. Чувствительность вольтметра регулируется переменным резистором R1.

Измерение собственной частоты колебательного контура. Перед началом измерения замыкают цепь питания транзистора и ГИР переводят в режим непрерывной генерации. Катушка ГИР, жестко укрепленная на его корпусе, индуктивно связана с исследуемым контуром. Изменением емкости конденсатора C2 настраивают контур ГИР на резонансную частоту $f_{рез}$. Момент резонанса определяют по резкому уменьшению показаний вольтметра, вызванному отсосом энергии из контура ГИР исследуемым контуром. Для повышения точности измерений связь с контуром ГИР должна быть минимально возможной. Частота собственных колебаний исследуемого контура определяется по шкале отсчетного устройства конденсатора C2.

Измерение индуктивности L_x. Собирают колебательный контур из измеряемой катушки и конденсатора известной емкости C_0. Используя ГИР, определяют собственную частоту колебаний этого контура $f_{рез}$. Искомая индуктивность

$$L_x=25\,300/(C_0 f^2_{рез}),$$

где L_x, мкГн; C_0, пФ; $f_{рез}$, МГц.

Измерение емкости C_x. Для измерения необходимо иметь катушки с известной индуктивностью L_0. Измерение проводят аналогично измерению L_x, а емкость вычисляют по формуле $C_x=25\,300/(L_0 f^2_{рез})$.

Гетеродинный индикатор резонанса можно использовать как сигнал-генератор при настройке радиоприемников и телевизоров. Для получения АМ сигналов на «вход А» ГИР следует подать небольшое (примерно 0,5 В) напряжение от звукового генератора или низковольтного источника промышленной частоты.

Гетеродинный индикатор резонанса при выключенном коллекторном напряжении применяют также как резонансный волномер или индикатор электромагнитного поля для налаживания радиопередатчиков или его антенно-фидерных цепей.

1.7. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Генераторы звуковых частот

Измерительными генераторами (ИГ) называют устройства, вырабатывающие измерительные электрические сигналы различной частоты, амплитуды и формы. В диапазоне ЗЧ (20 Гц...20 кГц) наибольшее применение находят ИГ синусоидальных сигналов, которые в зависимости от типа задающего генератора подразделяются на LC- и RC-генераторы и генераторы на биениях.

LC-генератор. Он представляет собой самовозбуждающееся устройство с колебательным контуром, состоящим из катушки и конденсатора. Частота собственных колебаний контура f [Гц] определяется индуктивностью L [мкГн] и емкостью C [мкФ]: $f=159/\sqrt{LC}$.

Для получения сигналов ЗЧ необходимо использовать большие индуктивности и емкости, что затрудняет создание малогабаритного генератора, перестраиваемого в диапазоне частот. Поэтому LC-генераторы обычно выполняют на одну или несколько фиксированных частот, которые устанавливаются переключением конденсаторов контура.

Простой задающий LC-генератор звуковой частоты (рис. 1.47). Частота генератора зависит от параметров трансформатора T1 и емкости конденсатора C1. Форма сигнала регулируется подбором сопротивления резистора R1. Переменный резистор R2 выполняет роль регулятора выходного напряжения.

RC-генераторы находят широкое применение, поскольку имеют достаточно хорошую стабильность, небольшой коэффициент гармоник и просты по устройству. Основой RC-генератора является усилитель, охваченный ПОС через фазосдвигающую цепь, обеспечивающую генерацию сигнала синусоидальной формы. Необходимую частоту выходного сигнала устанавливают изменением сопротивлений резисторов или емкостей конденсаторов, входящих в фазосдвигающую цепь.

Генератор с двухкаскадным усилителем (рис. 1.48). Его частота определяется из выражения

$$f=159/\sqrt{R_1R_2C_1C_2},$$

где f, кГц; R_1, R_2, кОм; C_1, C_2, мкФ

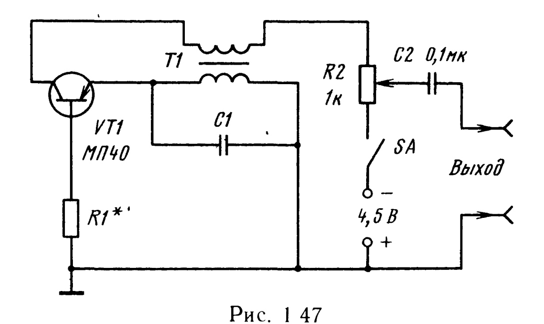


Рис. 1.47

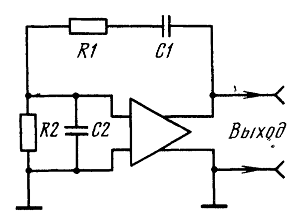


Рис. 1 48

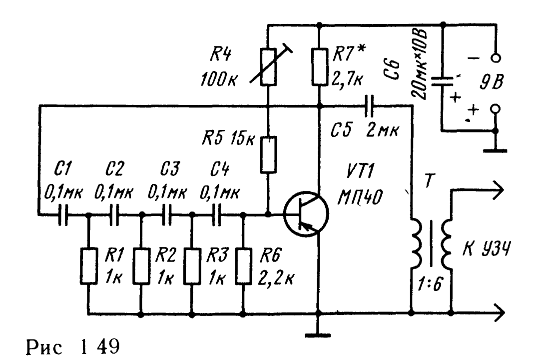


Рис 1 49

Однокаскадный RC-генератор. Генератор с параметрами, указанными на рис. 1.49, вырабатывает сигналы частотой 1000 Гц. Изменение частоты в пределах 850 .. 1100 Гц производится подстроечным резистором R4. Резистор R7 подбирают при настройке генератора Его сопротивление зависит от типа примененного трансформатора T. Усилитель однокаскадного генератора должен иметь коэффициент усиления по напряжению $K \geqslant 19$ при показанной четырехзвенной фазосдвигающей цепи и $K \geqslant 29$ при аналогичной трехзвенной цепи

Если $R_1 = R_2 = R_3 = R_6 = R$ и $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C$, частота генерируемых сигналов в генераторе с трехзвенной цепью $f \approx 65/(RC)$, а в генераторе с четырехзвенной цепью $f \approx 133/(RC)$, где f, Гц, R, кОм; C, мкФ.

Измерительный генератор комплекта измерительных приборов «Спутник радиолюбителя» (рис 1 50). Генератор выполнен по схеме, аналогичной рис 1 46, и дает восемь фиксированных частот: 100, 400 Гц, 1, 3, 5, 8, 10 и 15 кГц с погрешностью, не превышающей ±20 %. Выходные напряжения регулируемое на зажимах «Выход 1» не более 0,25 В (при нагрузке 3200 Ом); нерегулируемое на зажимах «Выход 2» 0,7 В.

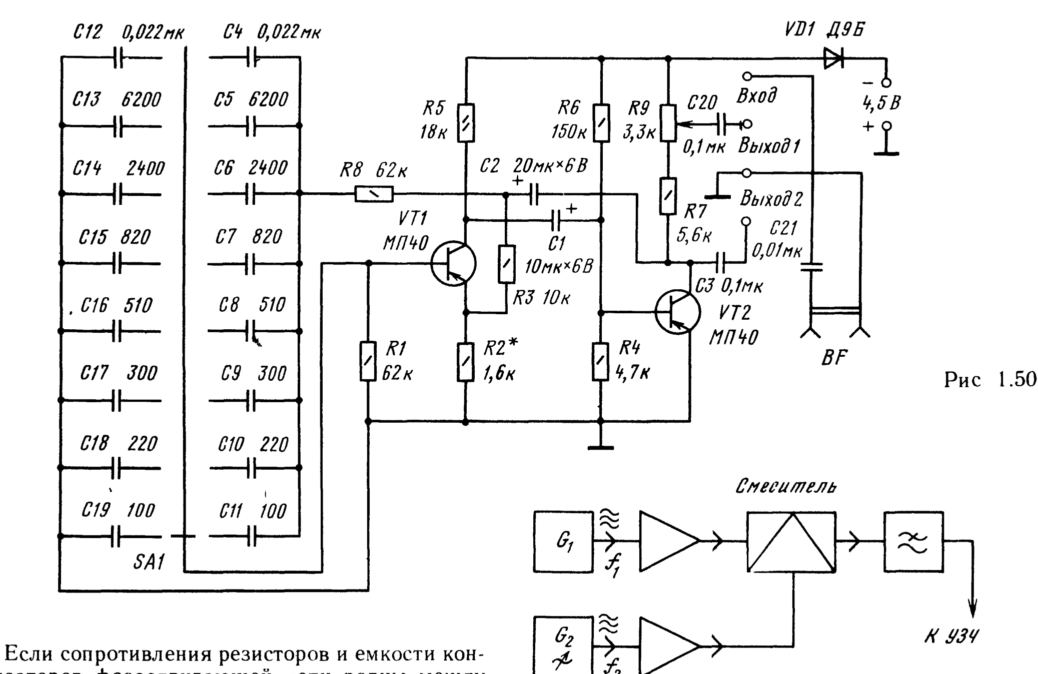


Рис 1.50

Рис 1.51

Если сопротивления резисторов и емкости конденсаторов фазосдвигающей цепи равны между собой, т е. $R_1 = R_2 = R$ и $C_1 = C_2 = C$, то $f \doteq 159/(RC)$.

В этом случае коэффициент усиления усилителя по напряжению при разомкнутой цепи ПОС должен быть равен 3. Поскольку двухкаскадные резисторно-конденсаторные усилители имеют значительно большее усиление, представляется возможным ввести в такой генератор ООС (автоматически регулируемую), что способствует получению сигналов, более стабильных по амплитуде и лучших по форме.

Гнезда «Вход» и BF позволяют использовать генератор как пробник при проверке целостности электрических цепей. При необходимости иметь плавную перестройку частоты резисторы R8 и R1 нужно заменить спаренным переменным резистором

Измерительный ГЗЧ на биениях (рис. 1.51). Сигнал ЗЧ в этом генераторе получают путем

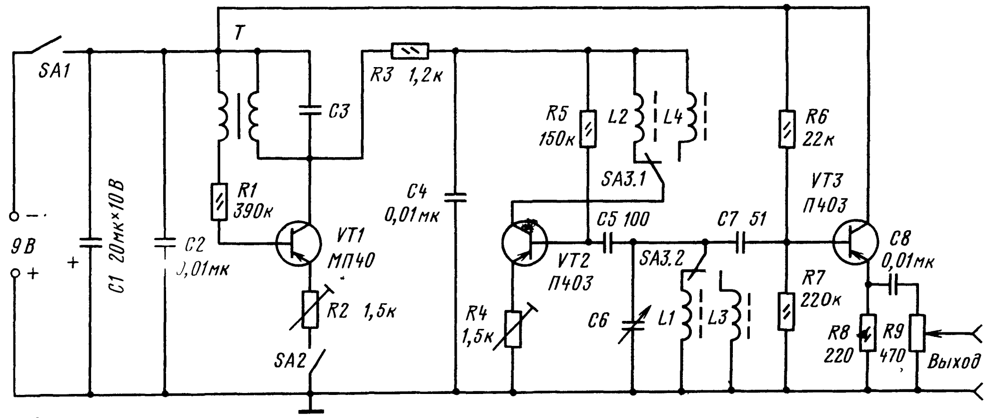


Рис. 1.52

выделения смесителем и ФНЧ сигнала разностной частоты двух близких по частоте (около 200 кГц) РЧ генераторов G1 и G2. Основные достоинства генераторов на биениях — хорошая форма сигнала, высокая стабильность частоты и возможность очень тонкой ее перестройки.

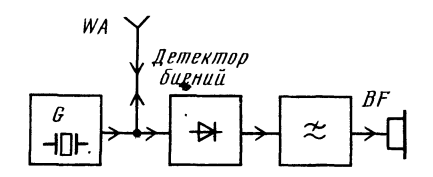


Рис. 1.53

Генераторы радиочастот

Измерительные РЧ генераторы являются маломощными источниками незатухающих и модулированных электрических сигналов. Задающие генераторы этих приборов выполняют с колебательными LC контурами. В приборах диапазона УКВ в качестве колебательных контуров применяют отрезки длинных линий. Погрешность по частоте измерительных генераторов достигает ±1...2 %.

Простой генератор на транзисторах (рис. 1.52). Генератор может работать в режиме незатухающих колебаний (выключатель SA2 разомкнут) или с амплитудной модуляцией (выключатель SA2 замкнут). Частота сигнала РЧ определяется параметрами элементов колебательных контуров, а частота модулирующего напряжения (обычно 400 или 1000 Гц) — параметрами трансформатора T и конденсатора C3.

Генераторы РЧ, стабилизированные кварцами. Они более стабильны по частоте. Частота колебаний таких генераторов в основном определяется параметрами применяемых кварцевых резонаторов. Для получения сетки фиксированных частот нередко используют гармоники основной частоты резонатора. Кварцевые резонаторы широко применяют в кварцевых калибраторах (КК) или в опорных кварцевых генераторах, т. е. в приборах, предназначенных для поверки градуировки радиопередающих и радиоприемных устройств в ряде опорных точек их шкал.

Для поверки и градуировки шкалы частот радиопередатчиков используют метод нулевых биений. При поверке радиоприемников кварцевый калибратор используют как генератор сигналов фиксированной частоты. Если поверяемый приемник не имеет второго телеграфного гетеродина, о настройке судят по электронно-световому индикатору или предусматривают в калибраторе амплитудную модуляцию РЧ сигналов. Структурная схема кварцевого калибратора дана на рис. 1.53.

Простой кварцевый калибратор (рис. 1.54). Генератор на транзисторе VT1 с кварцевым ре-

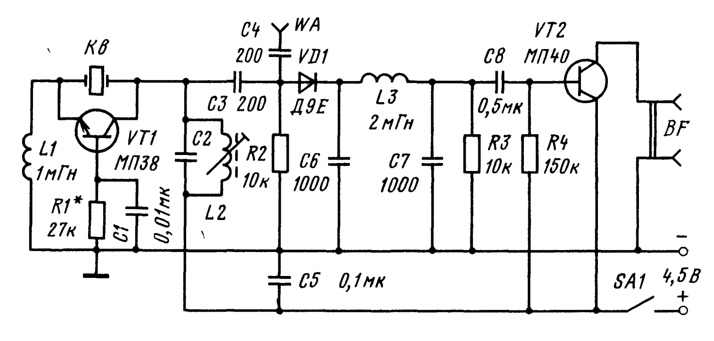


Рис. 1.54

Таблица 1.18. **Измерительные генераторы и кварцевые калибраторы**

Тип	Диапазон частот	Среднеквадратическое значение выходного напряжения или мощность	Основная погрешность по частоте	Тип задающего генератора
Г3-104*	20 Гц...40 кГц	1,5 Вт	$\pm(0{,}01f+2)$ Гц	На биениях
Г3-105**	10 Гц...2 МГц	1 В	$\pm5\cdot10^{-7}f$	Кварцевый
Г3-106***	20 Гц...200 кГц	5 В	$\pm(0{,}03f+0{,}3)$ Гц	RC
Г4-102	0,1...50 МГц	0,5 В	$\pm(250\cdot10^{-6}f+50)$ Гц	LC
Г4-107	12,5...400 МГц	1 В	$\pm0{,}01f$	LC
Ч2-5	0,1; 1; 2,5; 10; 100 кГц; 1 МГц	1 В	$\pm5\cdot10^{-7}f$	Кварцевый
Ч4-1	0,125...20 МГц (0,125 МГц)	—	±0,02 %	Кварцевый калибратор

* Коэффициент гармоник не более 1,5 %
** Коэффициент гармоник не более 2 %
*** Коэффициент гармоник не более 1 %

зонатором Кв создает колебания частотой 100 кГц. Колебательный контур в цепи коллектора настраивается на эту частоту сердечником катушки L2. Искажение формы колебаний для получения большого числа гармоник (до 60...80) осуществляют подбором сопротивления резистора R1. Роль смесителя выполняет диод VD1. На транзисторе VT2 выполнен усилитель напряжения биений.

Зажим (или коаксиальное гнездо) WA служит для подключения элемента связи калибратора с поверяемым радиопередатчиком или радиоприемником. Для повышения точности измерения связь кварцевого калибратора с поверяемым передатчиком должна быть минимальной.

Основные технические характеристики некоторых измерительных генераторов синусоидальных сигналов и кварцевых калибраторов промышленного изготовления приведены в табл. 1.18.

Синтезаторы частот

Синтезаторы частот (измерительные генераторы с диапазонно-кварцевой стабилизацией частоты) находят широкое применение при проведении измерений в магистралях связи с уплотнением каналов, измерении параметров радиоустройств магистральной и однополосной радиосвязи в диапазонах ДВ, СВ и КВ. Они характеризуются малыми погрешностью установки частоты (не хуже 10^{-6}) и ее нестабильностью (примерно $3\cdot10^{-7}$ за 15 мин и 10^{-10} за сутки).

Синтез частот основан на получении гармоник и субгармоник высокостабильной частоты опорного сигнала и их последующем преобразовании в большое число сигналов фиксированных частот путем их сложения, вычитания, деления и умножения в электронных узлах синтезатора.

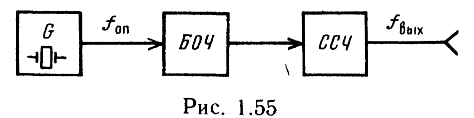


Рис. 1.55

Измерительный синтезатор частот состоит из трех основных узлов (рис. 1.55). Опорный термостатированный кварцевый автогенератор вырабатывает высокостабильный по частоте сигнал $f_{оп}$ (обычно 1 или 5 МГц). Блок опорных частот (БОЧ) формирует из опорного сигнала ряд сигналов с фиксированными частотами (с такой же относительной нестабильностью частоты, как и у опорного генератора). Система синтеза частот (ССЧ) создает на выходе сигнал с переключаемым значением частоты в заданном диапазоне.

Основным устройством ССЧ является частотная декада, которая обеспечивает установку частоты выходного сигнала в том или ином десятичном разряде. Частотная декада состоит из элементов, выполняющих соответствующие арифметические действия с частотами сигналов БОЧ, и фильтров с фиксированной или перестраиваемой частотой настройки, позволяющих получать выходной сигнал с малым коэффициентом гармоник.

Синтезаторы частот различаются в основном типом применяемых частотных декад.

Существуют два метода построения частотных декад и соответственно измерительных синтезаторов частот: метод прямого синтеза и метод косвенного синтеза частот.

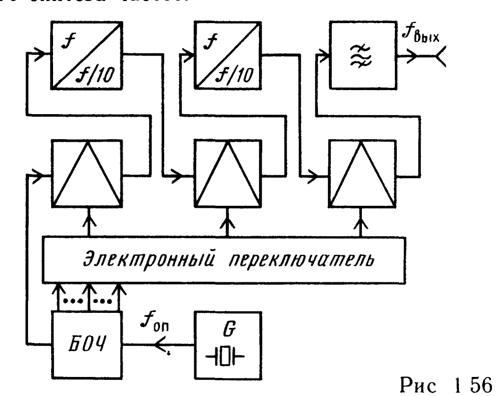


Рис 1 56

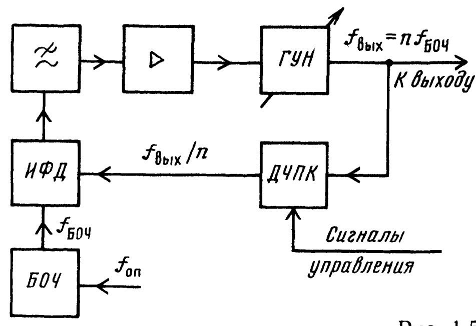


Рис. 1.57

При прямом синтезе частот каждая частотная декада включает один или несколько смесителей, сочетающихся с делителями частоты на 10 (рис. 1.56.). Декады соединяются последовательно. При этом общий коэффициент деления частоты $K_{вых} = 10^N$, где N — количество последовательно соединенных декад. Дискретность установки частоты выходного сигнала синтезатора может быть сделана как угодно малой. Входные сигналы частотных декад переключаются N-канальным электронным переключателем, который может управляться дистанционно или кнопками, устанавливаемыми на передней панели синтезатора частот.

Синтезаторы частот, построенные по методу прямого синтеза, выполняют на диапазон частот, не превышающий обычно 500 МГц.

При методе косвенного синтеза частот частотные декады строятся с использованием систем ФАПЧ, выполняющих роль активного фильтра частот (рис. 1.57). Фильтрующим элементом в системе ФАПЧ является ФНЧ, включаемый в цепь напряжения, управляющего частотой перестраиваемого генератора. Выходом частотной декады является выход генератора, управляемого напряжением (ГУН), значение частоты которого в n раз выше частоты $f_{БОЧ}$, поступающей на импульсный фазовый детектор (ИФД). Напряжение обратной связи поступает на ИФД с выхода делителя частоты с переменным коэффициентом деления в n раз (ДЧПК). Коэффициент деления устанавливается сигналами управления. Варьируя коэффициент деления n, можно получить совокупность значений частоты выходного сигнала синтезатора, называемую сеткой частот. Для расширения частотного диапазона синтезатора и изменения шага дискретизации значений выходной частоты в синтезаторах косвенного синтеза применяют несколько частотных декад с ФАПЧ и несколько смесителей, позволяющих суммировать и вычитать значения частот с выходов определенных частотных декад.

Косвенный синтез позволяет снизить стоимость синтезатора, упрощает его конструкцию и может быть применен для получения сигналов с частотами более 500 МГц. Однако такие синтезаторы требуют большего времени на переключения выходных частот по сравнению с синтезаторами частот, использующими прямой метод синтеза.

Генераторы полос для настройки телевизоров

Качество работы телевизионного приемника в значительной мере определяется нелинейностью разверток по горизонтали и вертикали. Для определения коэффициента нелинейности разверток может быть использована испытательная таблица ТИТ-0249, которая передается телевизионными передатчиками перед началом работы студий телевидения. Для определения этих коэффициентов следует измерить стороны прямоугольников таблицы Б2 и Б7 по горизонтали (размеры Г) и Б2, Д2 по вертикали (размеры В), а затем произвести вычисления по формулам

$$\rho_г = 200\,(Г_{max} - Г_{min})\,/\,(Г_{max} + Г_{min});$$

$$\rho_в = 200\,(В_{max} - В_{min})\,/\,(В_{max} + В_{min}),$$

где $\rho_г$ и $\rho_в$ — коэффициенты нелинейности разверток соответственно по горизонтали и вертикали, выраженные в процентах.

Однако из-за кратковременности передачи таблицы использование ее для настройки телевизора не всегда возможно. Поэтому для подобных целей целесообразно изготовить генератор черно-белых полос, т. е. генератор прямоугольных видео- и радиоимпульсов (рис. 1.58), частота следования которых в целое число раз (n) выше частоты строчной (для генератора вертикальных полос) или (в m раз) кадровой (для генератора горизонтальных полос) развертки. Выход видеоимпульсов генератора подключают ко входу видеоусилителя, а выход генератора радиоимпульсов — ко входу настраиваемого телевизора. Таким образом, испытательные сигналы поступают на входы генераторов строчной и кадровой разверток и на модулирующий электрод (или катод) электронно-лучевой трубки, вызывая на ее экране чередующиеся светлые и темные полосы. При скважности импульсов, равной 2, на экране кинескопа возникают светлые и темные полосы одинаковой толщины (при большой скважности импульсов светлые или темные полосы могут превращаться в линии). Синхронизируют частоту строчного и кадрового генераторов ручками «Частота строк» и «Частота кадров» по импульсам генератора полос. При устойчивой синхронизации на экране телевизора должно наблюдаться n (или m) светлых или темных полос или линий.

Генераторы цветных полос сложны, и их изготовление для радиолюбительских целей неоправданно дорого и трудоемко.

Простой транзисторный генератор полос (рис. 1.59) содержит: генератор на транзисторе VT4, работающий на несущей частоте сигнала изображения одного из телевизионных каналов; генератор-модулятор горизонтальных полос, ра-

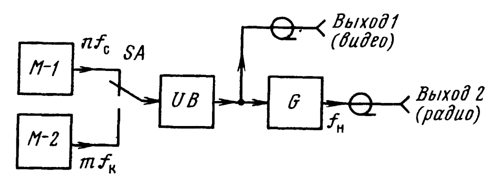


Рис. 1.58

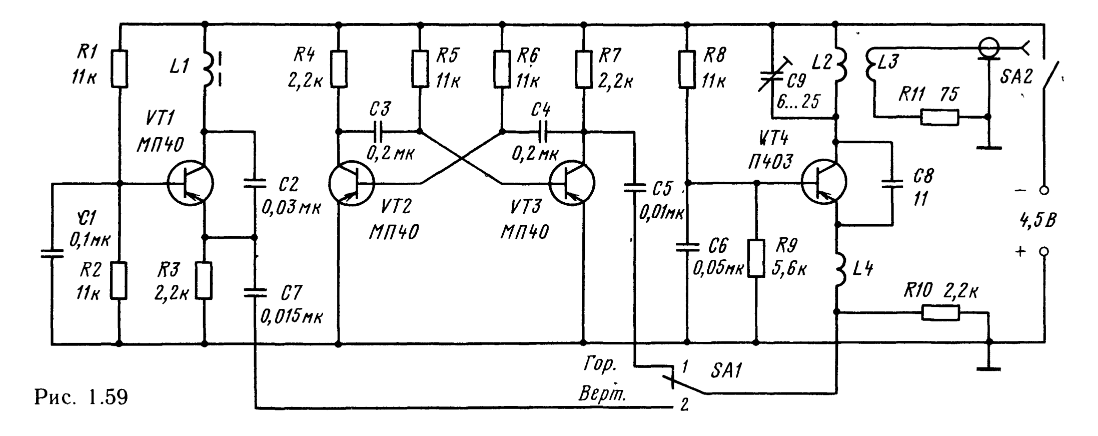


Рис. 1.59

ботающий на частоте 400 Гц (симметричный мультивибратор на транзисторах VT2 и VT3); генератор-модулятор вертикальных полос, работающий на частоте 156 кГц (LC-генератор на транзисторе VT1).

Выход прибора соединяют с антенным гнездом телевизора отрезком коаксиального кабеля. При этом на вход телевизора поступают радиоимпульсы, несущая частота которых, определяемая параметрами элементов контура C9L2, соответствует частоте сигнала изображения одного из телевизионных каналов; телевизор должен быть включен на этом канале.

Переключатель генератора полос SA1 устанавливают в положение «Гор.» и ручкой телевизора «Частота кадров» добиваются устройчивого изображения восьми горизонтальных полос ($m=8$; $f_{кадр}=50$ Гц). При линейной кадровой развертке расстояние между полосами должно быть одинаковым. Для проверки линейности по строкам переключатель SA1 переводят в положение «Верт.» и ручкой телевизора «Частота строк» добиваются устойчивого изображения десяти вертикальных полос ($n=10$; $f_{стр}=15{,}6$ кГц). При линейности строчной развертки расстояние между соседними полосами должно быть одинаковым.

При наличии измерительного генератора УКВ диапазона (например, Г4-17) и генератора ГЗЧ с диапазоном до 200 кГц (например, Г3-33) может быть создан генератор полос (рис. 1.60), аналогичный изображенному на рис. 1.58. Для этого генератор УКВ переводят в режим внешней амплитудной (или импульсной) модуляции с несущей, равной частоте сигнала изображения одного из телевизионных каналов, а в качестве внешнего модулятора применяют ГЗЧ. Частоту модулирующего напряжения выбирают из условия $f_м=pf_р$, где $f_р$ — частота развертки телевизора (по горизонтали или вертикали); p — желаемое число темных (светлых) полос по горизонтали или вертикали соответственно.

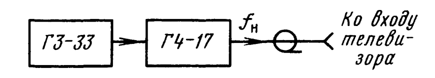


Рис. 1.60

1.8. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Функциональная схема ЭЛО

Электронно-лучевой осциллограф (ЭЛО) — прибор, предназначенный для визуального наблюдения формы исследуемого сигнала и измерения его параметров с помощью электронно-лучевой трубки (ЭЛТ).

Функциональная схема универсального ЭЛО представлена на рис. 1.61. Она включает: канал Y (или канал сигнала, канал вертикального отклонения), канал X (или канал горизонтального отклонения), канал Z (или канал модуляции яркости), калибратор чувствительности, калибратор развертки, ЭЛТ и узел питания.

Канал Y служит для подключения ЭЛО к объекту исследования, передачи исследуемого сигнала на пластины Y ЭЛТ и изменения уровня этого сигнала с целью получения удобного для наблюдения размера изображения сигнала по вертикали на экране ЭЛТ. Поэтому в его состав входят: переключатель входа SA1 (открыт или закрыт), аттенюатор (делитель напряжения), эмиттерный (истоковый) повторитель, линия задержки, широкополосный усилитель с плавно регулируемым коэффициентом усиления. Выходной каскад усилителя (обычно парафазный) подключен к пластинам Y ЭЛТ. При исследовании сигнала большого уровня он может быть подан непосредственно на пластины Y через гнезда Г1 и Г2. Изменение постоянной составляющей напряжения на выходах оконечного парафазного усилителя (ручкой «|») позволяет смещать изображение сигнала вдоль вертикальной оси экрана ЭЛТ. Линия задержки обеспечивает подачу исследуемого сигнала на пластины Y с задержкой до 0,5 мкс относительно начала развертки луча вдоль оси X, что позволяет наблюдать фронт импульсного исследуемого сигнала. Эмиттерный (истоковый) повторитель согласует высокоомный выход аттенюатора с низкоомным волновым сопротивлением линии задержки.

Канал X предназначен для усиления внешних сигналов развертки луча ЭЛТ вдоль оси X, создания напряжения линейной развертки, усиления этих сигналов и усиления сигналов, синхро-

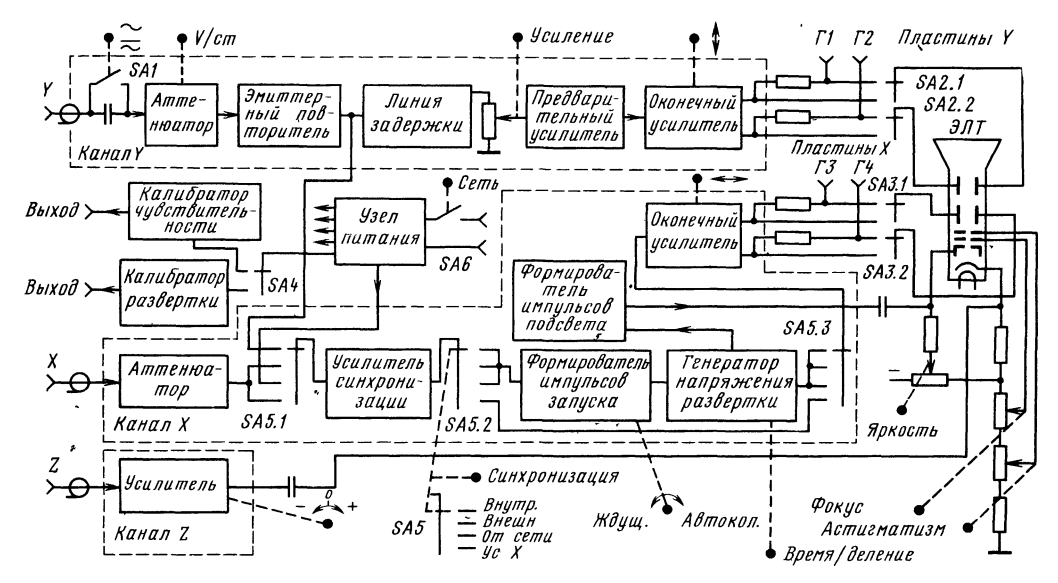


Рис. 1.61

низирующих частоту внутреннего генератора напряжения линейной развертки. В канал входят: аттенюатор, усилитель синхронизации, формирователь импульсов запуска, генератор напряжения развертки, оконечный усилитель горизонтального отклонения и формирователь импульсов подсвета.

Формирователь импульсов запуска вырабатывает импульсы, которыми запускается генератор напряжения развертки или синхронизируется его частота. Генератор напряжения развертки вырабатывает линейно изменяющееся напряжение (рис. 1.62), под действием которого луч ЭЛТ перемещается вдоль оси X ЭЛТ с постоянной скоростью (что превращает ось X в ось времени). Обычно для формирования такого напряжения в генераторах развертки используют зарядку (или разрядку) конденсатора в цепи с большой постоянной времени. В современных осциллографах для этой цели широко используют интеграторы, основанные на операционном усилителе, в цепь обратной связи которого включают конденсатор. Генератор развертки должен работать как в автоколебательном (непрерывном), так и в ждущем режимах.

Формирователь импульсов подсвета вырабатывает импульс, равный по длительности времени прямого хода напряжения развертки $t_{пр}$

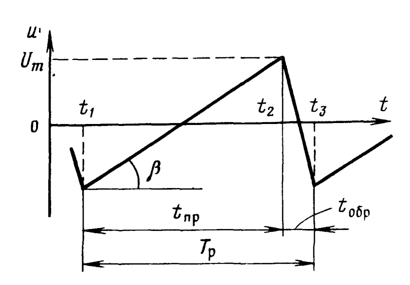


Рис. 1.62

(рис. 1.62), вызывающий открывание луча ЭЛТ. Такое управление яркостью луча ЭЛТ устраняет наложение на изображение исследуемого сигнала искаженного изображения этого же сигнала, которое могло бы возникнуть во время обратного хода напряжения развертки $t_{обр}$.

Канал Z позволяет модулировать яркость луча ЭЛТ, что необходимо при некоторых методах измерения (например, при измерении частоты сигналов методами сравнения). В канал входят: аттенюатор, инвертор и усилитель.

Калибратор чувствительности (или калибратор амплитуды) является источником известного образцового по амплитуде напряжения. Подача этого напряжения на вход Y ЭЛО позволяет по заданному (в паспорте осциллографа) размаху по вертикали изображения калибрующего сигнала выставить ручкой «Усиление» номинальный коэффициент отклонения $C_{ун}$, что позволит использовать ЭЛО в качестве вольтметра.

Калибратор развертки (или калибратор длительности) является источником сигнала с известной (с высокой точностью) частотой. Часто в качестве калибратора развертки используют кварцевые автогенераторы на частоту 100 кГц (период $T_к = 10$ мкс). Подача сигнала с известным периодом на вход Y ЭЛО позволяет откорректировать действительную скорость развертки (tg β, рис. 1.62) к номинальному значению коэффициента развертки $C_{хн}$, установленному ручкой «Время/деление». (Например, при $C_{хн} = 10$ мкс/см и $T_к = 10$ мкс изображение периода калибрующего сигнала должно укладываться в 1 см оси X ЭЛТ.) Калиброванная развертка позволяет использовать ЭЛО в качестве измерителя временных интервалов.

Узел питания ЭЛО отличается от узлов питания других электронных измерительных приборов наличием высоковольтного (несколько киловольт) выпрямителя.

Применение ЭЛО

Электронно-лучевой осциллограф позволяет измерять мгновенные значения сигналов, их временные параметры, отношение частоты измеряемого сигнала к частоте образцового генератора (и тем самым определять частоту измеряемого сигнала), измерять фазовые сдвиги между сигналами на входе и выходе четырехполюсника, коэффициент амплитудной модуляции и т. п.

Для измерения мгновенного значения напряжения сигнала необходимо предварительно откалибровать чувствительность (т. е. откорректировать действительный коэффициент отклонения ЭЛО к его номинальному значению $C_{ун}$, установленному ручкой «V/cm»). Затем следует получить изображение сигнала на экране ЭЛТ и измерить его размер по вертикали l_y. Напряжение сигнала, соответствующего размеру l_y, равно $U_y = C_{ун} l_y$ (если $C_{ун}$, В/см, l_y, см, то U_y, В).

Для измерения временных параметров сигнала необходимо предварительно провести калибровку развертки (т. е. установить номинальный коэффициент развертки $C_{хн}$). Затем следует получить изображение сигнала на экране ЭЛТ и измерить размер l_x участка изображения сигнала вдоль оси X ЭЛТ, временной параметр которого измеряется (например, длину изображения измеряемого сигнала за один период), и вычислить его значение: $\Delta t = C_{хн} l_x$ (при $C_{хн}$, мкс/см, l_x, см, Δt, мкс).

Для измерения частоты синусоидального сигнала методом интерференционных фигур (фигур Лиссажу) необходим образцовый генератор, который следует подключить ко входу X ЭЛО (рис. 1.63). Канал X ЭЛО должен быть переключен в режим «Усиление X». Частоту образцового генератора $f_{обр}$ изменяют до получения устойчивого изображения интерференционной фигуры (например, изображенной на рис. 1.64). Устойчивое изображение наблюдается при определенных отношениях частот, для нахождения которых поступают следующим образом. Через полученное изображение фигуры мысленно проводят две линии — горизонтальную x и вертикальную y, не проходящие через узлы фигуры (рис. 1.64). Отношение числа пересечений фигуры с вертикальной линией n_y к числу пересечений с горизонтальной линией n_x равно отношению периодов напряжений, поданных на соответствующие входы ЭЛО ($n_y/n_x = T_y/T_x$), т. е. обратно отношению частот этих напряжений ($n_y/n_x = f_x/f_y$). Метод применим при отношении частот, меньшем 5.

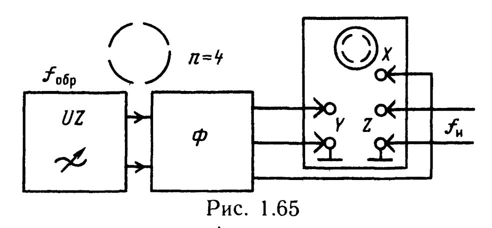


Рис. 1.65

Метод разрывов целесообразно применять при отношении частот измеряемого сигнала ($f_и$) и образцового генератора ($f_{обр}$) более 5, но менее 15. Для реализации метода необходимы образцовый генератор, ЭЛО и фазорасщепитель Ф (рис. 1.65). Фазорасщепитель должен выдавать на своих выходах два синусоидальных напряжения одной частоты, взаимно сдвинутые на 90° (обеспечивают получение круговой развертки). Эти напряжения подают на входы Y и X ЭЛО, который должен быть поставлен в режим «Усилие X». Измеряемый сигнал подают на «Вход Z». Измерение сводится к процессу перестройки частоты образцового генератора $f_{обр}$ до получения устойчивого изображения окружности (или эллипса) с чередующимися светлыми и темными дугами. Подсчитав число разрывов n, вычисляют измеряемую частоту: $f_и = n f_{обр}$.

На рис. 1.65 для примера показано изображение, соответствующее n=4. Для исключения ошибки неоднозначности необходимо отрегулировать ЭЛО так, чтобы под действием исследуемого напряжения происходило «гашение» изображения (часть окружности получалась бы темной). При измерении этим методом частоты синусоидального сигнала следует получить устойчивые

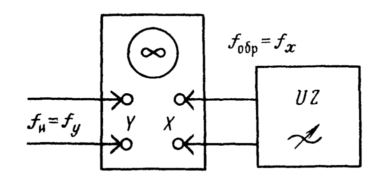


Рис. 1.63

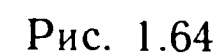


Рис. 1.64

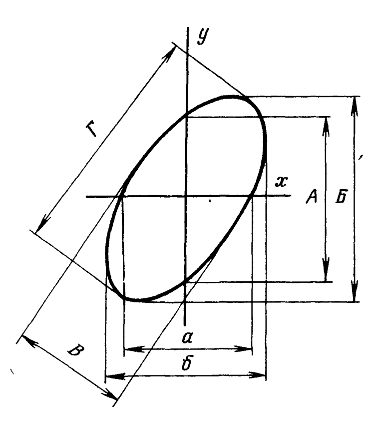


Рис. 1.66

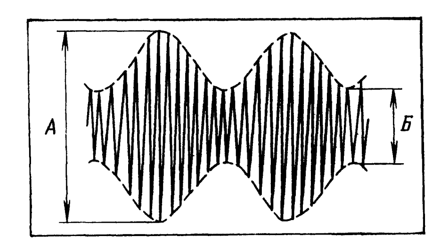


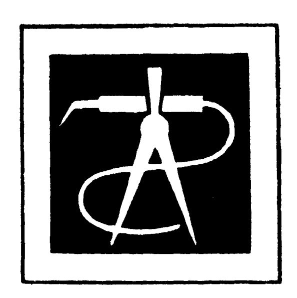
Рис. 1.67

фигуры с примерно равными светлыми и темными дугами.

Для измерения фазовых сдвигов между двумя синусоидальными напряжениями одной частоты ЭЛО необходимо поставить в режим «Усиление X» и эти напряжения подать на входы Y и X ЭЛО. При этом на экране ЭЛО будет наблюдаться эллипс (рис. 1.66). Параметры эллипса зависят от фазового сдвига между напряжениями. Измерив размеры А и Б (или а и б) эллипса, вычисляют фазовый сдвиг: $\varphi = \pm \arcsin (А/Б) = \pm \arcsin (а/б)$. При измерении размеров В и Г фазовый сдвиг вычисляют по формуле $\varphi = \pm 2 \operatorname{arctg} (В/Г)$.

Погрешность измерения фазового сдвига указанными способами не превышает $\pm(2...10°)$.

Для измерения коэффициента амплитудной модуляции исследуемый сигнал подают на «Вход Y» ЭЛО при непрерывной (автоколебательной) развертке луча и получают устойчивое изображение сигнала на экране ЭЛТ (рис. 1.67). Измерив размеры изображения А и Б, вычисляют коэффициент модуляции: $m = [(А-Б)/(А+Б)] \cdot 100\%$.



КОНСТРУИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКОЙ АППАРАТУРЫ

РАЗДЕЛ 2

Содержание

2.1. КОМПОНОВКА ЭЛЕМЕНТОВ АППАРАТУРЫ

Общие положения

Современная промышленная бытовая радиоаппаратура характеризуется:

частичной или полной заменой элементной базы в виде дискретных электрорадиоэлементов на микросхемы;

высоким качеством воспроизводимых сигналов, звуковых и визуальных (полоса воспроизводимых звуковых частот расширилась от 16...20 до 20 000...50 000 Гц при искажениях менее 0,1 % и четкости телевизионных цветных изображений в 1125 строк в новых цифровых телевизорах);

повышенными эргономическими показателями, при которых простые действия управления обеспечивают весьма сложные операции по настройке и регулировке аппаратуры;

«электронизацией» целого ряда традиционно механических устройств радиоаппаратуры (механические КПЕ заменяют на варакторные матрицы, емкость которых меняется при изменении приложенного к ним напряжения; механические переключатели каналов в телевизорах и переключатели диапазонов в радиоприемниках меняют на сенсорные с электронным механизмом контакта и т. п.);

модульностью конструктивно-схемных решений;

широким использованием цифровых устройств и новых типов индикаторов с буквенно-цифро-

вым отсчетом, часто выполняемых в виде комбинированных дисплеев.

Квалифицированные радиолюбители не только повторяют промышленные образцы, но и нередко разрабатывают оригинальные устройства, которые опережают промышленные разработки. При этом все перечисленные особенности отражаются в конструкциях аппаратуры.

Наиболее характерные конструктивные особенности современной радиолюбительской аппаратуры:

1. Конструкции выполняют в виде набора функциональных модулей, в каждом из которых находятся одна—три микросхемы и несколько дискретных элементов. Например, характерные модули телевизора: УПЧ изображения, УПЧ звука; УЗЧ, усилитель изображения, усилители сигналов цветности, строчной /развертки, кадровой развертки, стабилизации, модуль варакторных матриц с колебательными контурами, модуль сенсорного переключения диапазонов и др. Устройства управления, питания, головки громкоговорителя и другие выполняют в виде оригинальных устройств, характерных только для данного изделия, в то время как модули могут быть использованы в разнообразных моделях радиоаппаратуры данной группы.

2. Широко используют электронные шкалы настройки и цифровую индикацию частоты настройки. Это позволяет применять вместо сложных механизмов настройки с точеными и фрезерованными деталями обычные потенциометры, а вместо точных механических шкал настройки — электронные с цифровой индикацией, которые работают от синтезатора частот с очень высокой точностью отсчета индицируемой частоты. Аналогично работают электронные регуляторы громкости и тембра.

3. Сочетание в одном устройстве чувствительных приемников (звукового и телевизионного вещания) и генератора (тактовой частоты во многих цифровых устройствах) требует тщательной проработки компоновочных схем и введения специальных экранов.

4. Тесное расположение большого числа элементов требует учета их допустимых тепловых режимов как при эксплуатации, так и при монтаже. Микросхемы при этом не являются исключением, хотя уровни рассеиваемой в них мощности малы, но из-за «многослойности» конструкции, в которой чередуются материалы с низкой и высокой теплопроводностями, сам кристалл микросхемы внутри корпуса может быть нагрет до температуры, при которой может нарушаться нормальная работа устройства.

5. Радиолюбительскую аппаратуру выполняют с высокими эстетическими показателями. Радиолюбители часто используют футляры от промышленной аппаратуры, выполняя доработку таких элементов, как шкалы и устройства управления. Доработка проводится с использованием современных материалов и приемов художественного оформления.

Чтобы радиолюбительские конструкции хорошо работали, необходимо тщательно продумывать и выполнять компоновку их элементов — как внутреннюю, так и внешнюю.

Предварительный анализ работы устройства

Принципиальная схема устройства дает представление только о принципе работы устройства, но не о его конструкции. Множество же сложных взаимных связей между элементами, определяемых размещением их в пространстве или на плоскости, показать на принципиальной схеме нельзя. Размещение элементов принято называть *компоновкой* (от латинского *componere* — складывать).

Наиболее распространенной ошибкой начинающего радиолюбителя-конструктора является то, что при компоновке элементов он стремится получить как можно меньшие размеры устройства, пренебрегает возможными паразитными взаимосвязями между элементами различных каскадов, располагая элементы без учета принципа их работы. Чтобы не допустить таких ошибок, необходимо прежде всего тщательно рассмотреть возможные варианты компоновки элементов.

Наиболее трудно выполнить компоновку усилителей (особенно высокочастотных), проще — источников питания. При этом необходимо помнить следующее.

Компоновка усилителя тем сложнее, чем больше его коэффициент усиления и рабочая частота, чем шире полоса частот, чем больше в нем каскадов и диапазонов

Компоновка генератора (гетеродина приемника, измерительного генератора, передатчика и т. п.) тем сложнее, чем выше частота, на которой он работает, чем больше число частотных диапазонов, чем выше требуемая стабильность частоты и мощность.

Компоновка устройств питания достаточно проста для транзисторной аппаратуры. Для ламповой она тем сложнее, чем выше должна быть стабильность выходных напряжений или токов, чем больше напряжение или ток нагрузки, чем больше число выходов.

Изменение компоновки (перекомпоновка) источников питания почти не сказывается на их работе, в генераторах неудачная компоновка заметна, а в усилителях может оказаться причиной полного нарушения их нормальной работы. Часто причинами таких нарушений в усилителе радиочастоты могут быть всего лишь некоторое увеличение длины проводника, его недостаточная экранировка и другие незначительные на первый взгляд изменения в компоновке элементов.

При компоновке элементов нового или перекомпоновке элементов проверенного в работе устройства (прибора) необходимо проанализировать задачу в такой последовательности:

исходя из назначения устройства (усилитель, генератор, источник питания) оценить ожидаемую сложность компоновки элементов;

продумать необходимость применения экранов, развязывающих фильтров между каскадами и предусмотреть место для их установки;

оценить особенности монтажа элементов и регулировки устройства как по частям, так и в целом, обеспечивающих нормальную эксплуатацию устройства;

предусмотреть все механические крепления и места под винты и гайки, заклепки и т. д.;

выполнить эскиз компоновки элементов устройства с органами управления и индикаторами.

На основе такого анализа получится несколько эскизных вариантов компоновки элементов и конструкции в целом, которые позволят наметить пути рационального конструирования и избежать общих ошибок.

Группировка элементов и компоновочная модель

После того как определены основные показатели конструируемой аппаратуры и разработана или выбрана ее принципиальная схема, надо продумать, целесообразно ли выполнить устройство на одной монтажной панели или разделить его на блоки, функциональные части, функциональные группы.

Отметим особенности компоновки приемников звукового и телевизионного вещания, поскольку они являются наиболее распространенными объектами радиолюбительского творчества.

Современное стационарное устройство для приема радиовещательных передач обычно состоит из следующих функциональных частей: настроечного блока, в состав которого входят преобразователи частоты УПЧ с цепью АРУ; детекторы, а при необходимости УРЧ; УЗЧ; блок питания (трансформатор, выпрямитель, сглаживающий фильтр, стабилизатор). Каскады предварительного усиления УЗЧ нередко выделяют в самостоятельный конструктивный узел. В стереофоническом устройстве добавляется стереодекодер и второй УЗЧ, причем оба УЗЧ иногда целесообразно скомпоновать в единую конструкцию вместе с коммутатором видов работы. Все перечисленные части вместе с устройством для проигрывания грампластинок, если конструируется радиола, размещают в общем футляре. Головки громкоговорителей стереофонической системы располагают в двух отдельных футлярах. Громкоговоритель монофонического радиоприемника также часто выполняют в отдельном футляре.

Если конструируется магнитола или магнитофон при имеющемся радиоприемном устройстве, целесообразно предусмотреть использование последних каскадов УЗЧ приемника и громкоговорителя (громкоговорителей) также для воспроизведения записей с магнитной ленты.

Высокочастотные части и УЗЧ переносных РВ приемников и приемников для радиоспорта обычно компонуют вместе.

Для ТВ приемника компонуют отдельно блоки УПЧИ, УПЧЗ, усилителя видеосигналов и детекторов; блок разверток и синхронизации; УЗЧ, блок питания, а для цветного телевизора, кроме того, блок цветности. Заниматься конструированием и изготовлением селекторов телевизионных каналов в настоящее время нецелесообразно, так как это очень трудоемкая работа, а они имеются в продаже.

Компоновку элементов радиоаппаратуры или ее частей и блоков рекомендуется выполнять в такой последовательности: перечертить принципиальную схему устройства (блока, функциональной части, функциональной группы) с учетом рациональной компоновки, сгруппировать пассивные элементы вокруг соответствующих активных элементов (транзисторов, электронных ламп), учитывая их особые компоновочные характеристики (например, расположение только вертикальное или горизонтальное, только сверху или только снизу платы и т. д.), и, наконец, составить окончательный вариант принципиальной схемы устройства (блока, функциональной части) для компоновки.

На рис. 2.1, *а* показана схема двухкаскадного УЗЧ на транзисторах в том виде, как ее обычно вычерчивают. На ее основе нетрудно сгруппировать элементы, составив схему группировки (рис. 2.1, *б*). С учетом компоновочных характеристик элементов, учитывая их установку в аппаратуре, и с учетом возможного введения развязывающих фильтров можно составить компоновочный эскиз (рис. 2.1, *в*), который и послужит основой для разработки конструкции устройства в целом.

Из компоновочного эскиза видно, что между размерами элементов и размерами монтажной

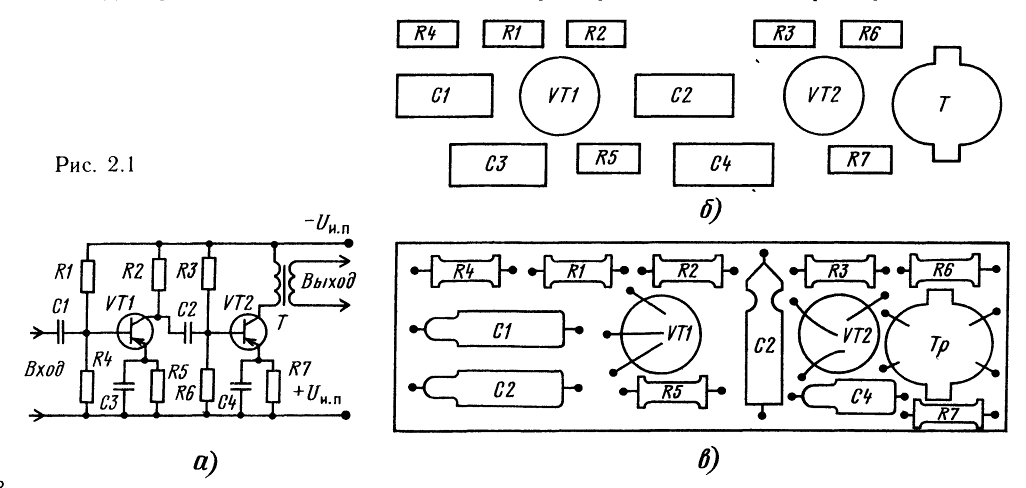


Рис. 2.1

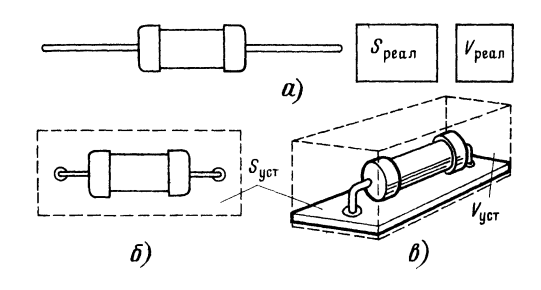
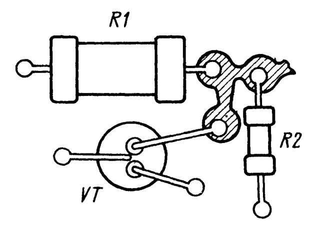


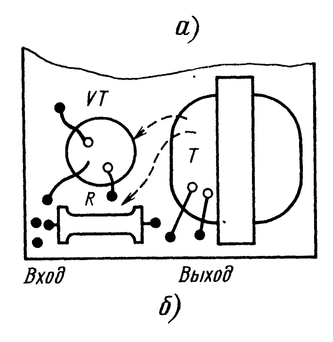
Рис. 2.2

платы (или устройства) существует заметная разница. Увеличение размеров радиоаппаратуры по сравнению с размерами составляющих ее элементов зависит от многих причин. Основные из них — электрические, магнитные и тепловые поля вокруг работающих элементов, которые могут быть причиной паразитных связей, нарушающих нормальную работу устройства, и необходимость дополнительного пространства в конструкции для механических и электрических соединений элементов, для размещения органов управления и индикаторов (осей и ручек управления, шкал, индикаторных ламп). Поэтому для компоновки следует использовать не геометрические модели элементов, размеры которых равны размерам элементов, а модели в виде их установочных объемов или площадей.

На рис. 2.2, *а* показан резистор, а рядом с ним в виде прямоугольников — его реальные площадь $S_{реал}$ и объем $V_{реал}$. Рассчитанные с учетом требований монтажа и нагрева резистора установочная площадь (рис. 2.2, *б*) и установочный объем (рис. 2.2, *в*) оказываются значительно большими. Если этого не учитывать при компоновке, то нормальная работа элементов может нарушиться. Например, размещение резистора МЛТ-2 (R1 на рис. 2.3, *а*) рядом с резистором



а)



б)

Рис. 2.3

ВС 0,125 (R2) и транзистором VT создает условия для сильного перегрева последних, а это может стать причиной нарушения нормальной работы устройства и даже выхода из строя транзистора VT и резистора R2.

Нельзя также располагать рядом элементы входных и выходных цепей (рис. 2.3, *б*). Так, если в усилителе (рис. 2.1) на плате рядом окажутся трансформатор с резистором R1 первого каскада, это может привести к самовозбуждению усилителя, устранить которое будет трудно.

Если радиолюбитель-конструктор уже имеет опыт сборки и налаживания аппаратуры, то приближенно установочные площади или объемы элементов можно определить, разделив соответственно общую площадь печатной платы или занимаемый ею объем на число элементов, ранее выполненных радиолюбителем конструкций. Такие данные послужат хорошей основой для обоснованных компоновочных расчетов новых конструкций.

Выбор типа электромонтажных соединений

В радиолюбительской практике широко используется печатный, проволочный навесной и проволочный жгутовый монтаж.

Печатный монтаж можно использовать во всех радиолюбительских конструкциях, кроме мощных каскадов передатчиков и блоков развертки

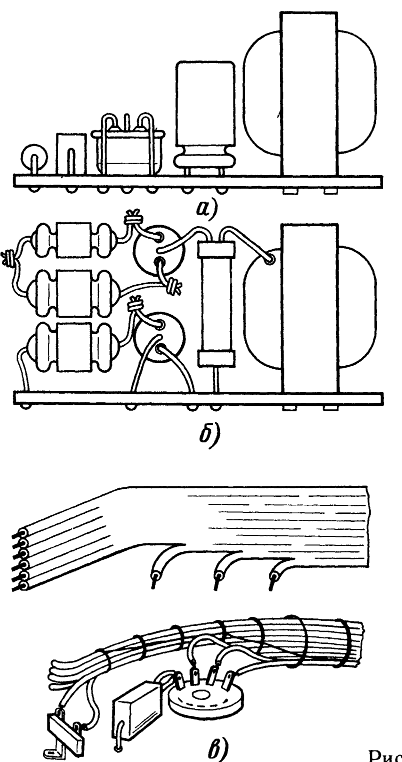


Рис. 2.4

телевизоров и осциллографов. Преимуществами печатного монтажа являются сравнительно малый объем и жесткая фиксация мест соединений, гарантирующие хорошую повторяемость параметров и высокое качество работы конструкций, собранных на одинаковых печатных платах. Однако из-за того, что при печатном монтаже элементы имеют общее основание (рис. 2.4, *а*), значительного выигрыша в размерах конструкции получить не удается.

Проволочный навесной монтаж позволяет получить трехмерную (объемную) конструкцию соединений, что дает возможность уменьшить габаритные размеры устройства в целом, однако такой монтаж весьма сложен в исполнении, особенно при плотной компоновке. Навесной монтаж целесообразно применять в каскадах передатчиков, телевизоров и осциллографов, где элементы работают под напряжением более 1 кВ (рис. 2.4, *б*).

Проволочный жгутовый монтаж с использованием одно- или многорядных проволочных жгутов (рис. 2.4, *в*) применяют для межблочных соединений и в блоках питания, где влияние паразитных связей между различными проводниками на работу устройства незначительно.

Особенности компоновки органов управления и индикаторов

Рациональная компоновка элементов и учет влияния монтажных соединений позволяют решить только часть задачи конструирования. Устройство имеет органы управления и индикаторные устройства, которые определяют внешнюю компоновку. При решении компоновочных задач необходимо учитывать правила внешней компоновки, ибо как бы хорошо не были скомпонованы элементы, но если шкала расположена с одной стороны приемника (например, спереди), а ручка настройки — с другой (например, сзади), то работать с таким аппаратом будет неудобно и трудно.

Основные правила рациональной внешней компоновки:

1. Органы управления радиоаппаратурой (переключатели, ручки настройки и регулировки) и связанные с ними электрически или механически индикаторы (например, шкалы) должны иметь такое относительное расположение, чтобы при управлении устройством руки оператора не загораживали индикаторы. С учетом этого ручку настройки радиоприемника располагают, как правило, правее шкалы или под ней.

Регулятор громкости в большинстве случаев целесообразно устанавливать слева, при этом, настраиваясь на частоту передающей радиостанции правой рукой, можно одновременно устанавливать желательный уровень громкости левой рукой. Это особенно удобно в приемниках, используемых для радиоспорта и для связи.

В малогабаритных (карманных) радиоприемниках регулятор громкости целесообразнее расположить вместе с ручкой настройки на правой

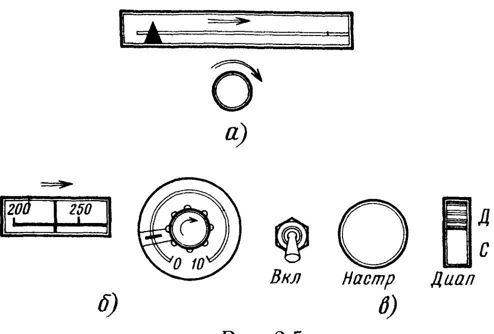


Рис. 2.5

боковой стенке корпуса, тогда этими органами управления удобно оперировать, взяв приемник левой рукой. Расположение остальных органов управления приемником, которыми пользуются относительно редко (переключатели диапазонов, регуляторы тембра и др.), не имеет большого значения.

На передней стенке телевизионного приемника, под экраном или справа от него, располагают переключатель селектора телевизионных каналов, ручки регуляторов яркости изображения и громкости звуковоспроизведения, регуляторы цветовой насыщенности (в телевизоре с цветным изображением), а также ручки настройки частоты гетеродина, если подстройка не обеспечивается автоматически. Поскольку остальными органами управления — регулятором размера по вертикали, ручками переменных резисторов установки частоты строк и частоты кадров — приходится пользоваться нечасто, их обычно размещают сзади; это позволяет эстетически улучшить конструкцию телевизора.

2. Наиболее рациональные конструкции шкал — круглые и линейные горизонтальные (линейные вертикальные дают меньшую точность отсчета показаний).

3. Вращение ручек управления должно соответствовать направлению движения стрелки прибора или указателя настройки (рис. 2.5, *а*).

4. «Нуль» шкалы должен быть слева или внизу, увеличение показаний на шкале должно происходить по часовой стрелке или слева направо (рис. 2.5, *б*).

5. Для разных операций управления (включение, настройка, переключение и т. п.) желательно использовать разные по характеру движения регуляторы (рис. 2.5, *в*).

6. Для устройств точной настройки следует применять ручки ∅ 40...80 мм, для вспомогательных — не менее 10 мм.

2.2. ПРИЕМЫ ВЫПОЛНЕНИЯ КОМПОНОВОЧНЫХ РАБОТ

Графическая компоновка

Графическую компоновку обычно выполняют на масштабно-координатной (миллиметровой) бумаге простым и цветным каран-

дашами. Графическая компоновка очень удобна при составлении эскизов монтажных соединений и при самом монтаже. На специально перечерченной схеме цветным карандашом отмечают уже припаянные элементы и проводники, что позволяет практически полностью избежать ошибок при выполнении монтажных работ.

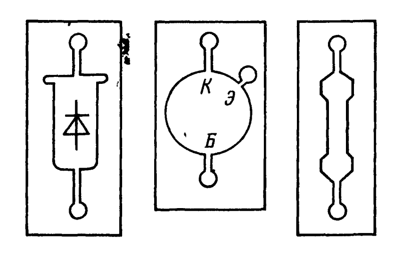
Аппликационная и модельная компоновки

В радиолюбительской практике целесообразна аппликационная компоновка.

Выбрав примерные размеры монтажной платы и вычертив ее контуры на листе миллиметровой или чертежной бумаги в масштабе имеющихся аппликаций, можно приступать к компоновке, раскладывая аппликации в соответствии с выбранной группировкой элементов (рис. 2.1). Так как размеры аппликаций соответствуют физическим размерам элементов, то их не допускается располагать вплотную. Монтажные точки для выводов элементов при печатном монтаже должны располагаться в узлах координатной сетки с шагом 2,5 мм. Это особенно важно при компоновке устройств с применением микросхем, выводы которых часто расположены именно на таком расстоянии

Добившись требуемого расположения элементов, аппликации закрепляют резиновым клеем (он прозрачен и позволяет использовать одну и ту же аппликацию несколько раз). Затем на полученный компоновочный макет накладывают лист кальки и переносят на него контуры элементов и контактные площадки. Наложив на полученный эскиз второй лист кальки или отогнув часть первого листа, переносят на него все контактные площадки. На обратной стороне второго листа изображение контактных площадок и деталей будет видно как бы с другой стороны платы (рис 2.6). На этом листе цветным карандашом или фломастером чертят соединительные проводники, т. е. составляют схему соединений. Таким же способом можно выполнить компоновку органов управления и индикаторных устройств. Применение кальки значительно упрощает компоновку, так как дает возможность видеть сразу обе стороны монтажной платы, а это позволяет легко осуществить при необходимости перекомпоновку деталей.

Модельная компоновка наиболее наглядна, но и наиболее сложна. Для нее требуются модели элементов, изготовить которые в радиолюбительских условиях затруднительно. Поэтому модели целесообразно использовать только для приблизительной компоновки крупных элементов устройства в целом (приемника, радиолы и т. п.). Модели крупных элементов можно склеить из бумаги или выпилить из пенопласта.



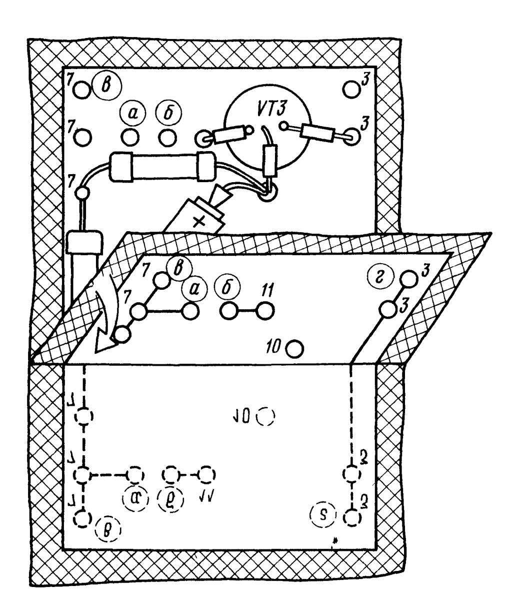


Рис. 2.6

Натурная компоновка

Натурную компоновку радиолюбитель-конструктор выполняет обычно в виде макета, с помощью которого проверяется работоспособность устройства (прибора). При переходе от макета к окончательной конструкции необходимо соблюдать следующие правила:

1. Макет должен иметь примерно такие же размеры и форму, что и окончательный вариант конструкции.

2. Расположение основных элементов, особенно в высокочастотных каскадах, на макете и в конструкции должно быть одинаковым.

3. При выборе компоновки, более плотной, чем на макете, обязательно надо предусмотреть место для стабилизирующих элементов, экранов, развязывающих фильтров, радиаторов и т. п.

4. Рисунок монтажных соединений на макете и в конструкции должен быть одинаков.

5. Должны быть учтены расположение, форма и размеры всех органов управления, индикаторов, а в переносных конструкциях — и отсека питания, а также особенности работы используемых гальванических или аккумуляторных батарей, их смены и т. д.

6. Необходимо продумать особенности эксплуатации устройства (удобства его переноски и установки при эксплуатации, защиты от пыли и влаги и т п)

Универсальная монтажная плата. Большие возможности для макетирования устройств дает применение универсальных печатных плат

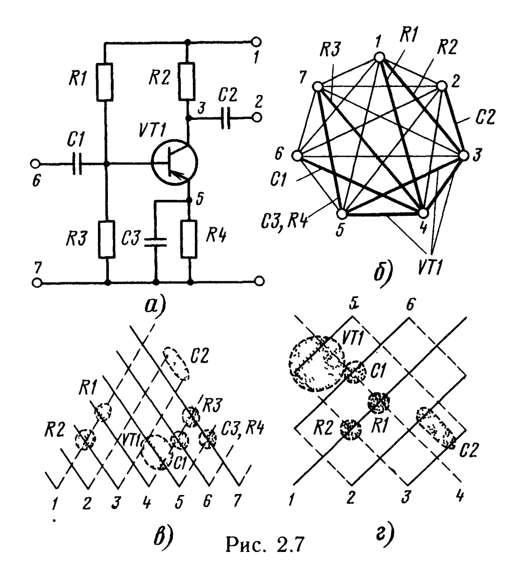


Рис. 2.7

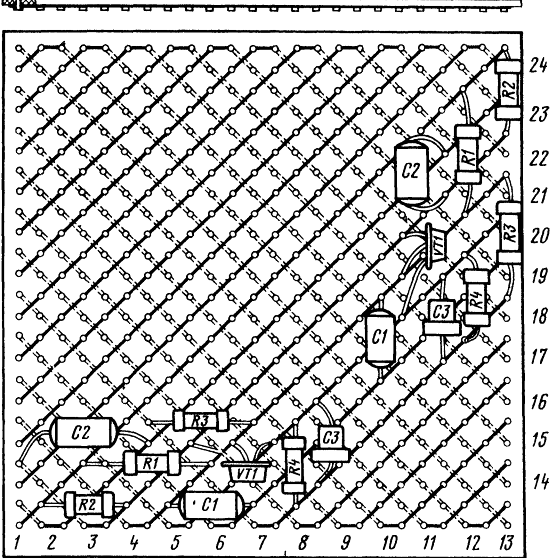


Рис 2 8

(УПП). Их можно использовать для макетирования устройств и их частей с различной компоновкой элементов, если соблюдено условие равенства (или превышения) числа контактных линий (проводников) на УПП и числа соединений на схеме. Принцип метода (его разработал и предложил П. П. Кувырков) рассмотрим на примере компоновки однокаскадного усилителя (рис. 2.7, *а*).

На схеме усилителя семь точек соединений. Если эти точки изобразить в виде вершин правильного семиугольника, то сами элементы можно представить в виде сторон или диагоналей этой фигуры. В математике такие фигуры называют *графами*. Если показать все возможные соединения между вершинами графа, то получится чертеж (рис. 2.7, *б*), на котором толстыми линиями показан реализованный граф соединений. Таким образом, если мы сможем создать полный граф соединений схемы на плате, то компоновка сведется только к расположению элементов на существующих проводниках. Конечно, часть проводников может быть и не использована (но это — «расплата» за универсальность УПП). Простейший вариант соединений УПП показан на рис 2.7, *в* Недостаток такой платы в том, что она имеет треугольную форму. Четырехугольная плата выполняется иначе (рис. 2.7, *г*) В обоих случаях проводники имеют в плане Г-образную форму и располагаются с двух сторон платы (сплошная линия — наружная сторона платы, а штриховая — оборотная).

Приступая к компоновке элементов на УПП, вначале нумеруют точки соединений так, чтобы номера выводов элементов (особенно транзисторов) следовали друг за другом. Затем нумеруют проводники УПП, после чего компонуют элементы так, чтобы номера их выводов совпадали с номерами проводников УПП.

При необходимости расположить элементы иначе (если, например, какие-либо элементы надо разнести дальше) их выводам присваивают номера, максимально отличающиеся один от другого. В этом случае элементы окажутся расположенными в разных углах или частях УПП Если выводы какого-либо элемента имеют номера, следующие друг за другом, то его можно перемещать вдоль проводников по всей их длине Если же номера выводов отличаются намного, то элемент можно расположить только на пересечении соответствующих проводников.

Изменяя нумерацию монтажных точек, можно получить различные варианты компоновки, число которых равно числу сочетаний из числа монтажных точек по 2 Так, при семи монтажных точках в устройстве число вариантов равно 21, при десяти — 45, при 20 — 190 и т. д. Подбором нумерации можно выбрать такое расположение элементов, при котором обеспечиваются наилучшие условия их работы

На рис. 2.8 приведен чертеж универсальной печатной платы, пригодной для любительских целей, и в качестве примера показаны два варианта компоновки усилительного каскада, схема которого приведена на рис. 2.7, *а*. Плату изготавливают из двустороннего фольгированного гетинакса или текстолита толщиной 1,5...2 мм. При отсутствии такого материала на обычный гетинакс или текстолит можно наклеить проводники, вырезанные из медной или латунной фольги (см. § 2.5)

2.3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Как правило, для каждого функционального узла или для малогабаритной радиоаппаратуры радиолюбители разрабатывают специальную печатную плату, основой которой является гетинакс или стеклотекстолит, обли-

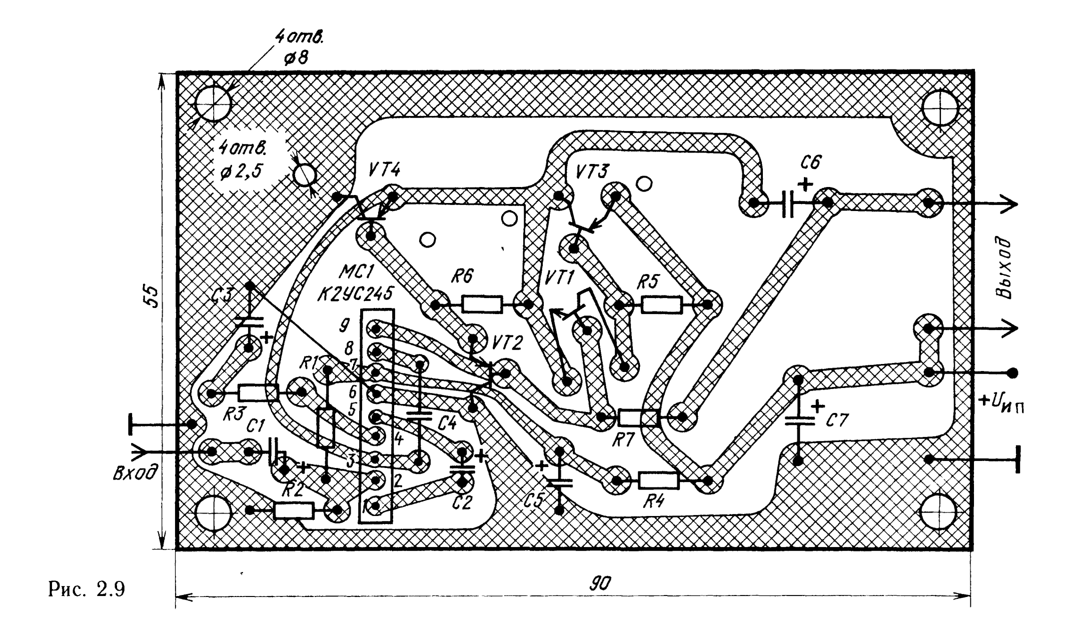


Рис. 2.9

цованный медной фольгой с одной стороны, реже — с двух сторон.

Оригинал рисунка печатных проводников выполняют на координатной сетке, образуемой пересекающимися под прямым углом рядами параллельных линий. Для печатных плат промышленной аппаратуры принят стандартный шаг координатной сетки (расстояние между соседними параллельными линиями), равный 2,5 мм. В любительских конструкциях рекомендуется принимать такой же шаг либо шаг размером 5 мм. В узлах координатной сетки, т. е. на пересечениях ее линий, располагают «контактные площадки». В отверстия, просверленные в центрах контактных площадок, будут впаиваться выводы элементов. В некоторых случаях, например при малых расстояниях между выводами какого-либо элемента, контактные площадки приходится делать и на линиях между узлами.

Электронная промышленность выпускает ряд типов элементов с расстояниями между осями выводов, равными стандартному шагу печатного монтажа 2,5 мм, с расстояниями, кратными по отношению к этому размеру: 5; 7,5 мм и т. д. или 1,25 мм К числу таких элементов относятся, например, электролитические конденсаторы К50-6, керамические подстроечные конденсаторы КПК-МП, транзисторы серий ГТ322, КТ306, КТ312, КТ315, КТ316, КТ325, КТ326, микросхемы серий К224, К237 и др.

Расстояния между выводами других элементов с гибкими проволочными выводами (например, резисторов ВС, МЛТ, конденсаторов КД, КТ, БМ, МБМ, КМ) легко привести к размеру, кратному шагу координатной сетки 2,5 или 5 мм, соответствующей формовкой (изгибом) выводов элементов.

На рис 2.9 показан пример компоновки на печатной плате УЗЧ, в котором использована микросхема К2УС245. Здесь позиционные обозначения элементов усилителя соответствуют его принципиальной схеме.

2.4. ПРОСТЕЙШИЕ КОНСТРУКТОРСКИЕ РАСЧЕТЫ

Расчет установочных параметров элементов

Установочный объем $V_{уст}$ элемента определяют исходя из максимальных (с учетом монтажа) размеров по ширине B, длине L и высоте H. Произведение этих величин с коэффициентом запаса 1,5 определяет установочный объем большинства элементов (кроме полупроводниковых и электровакуумных приборов, резисторов с большой мощностью рассеяния и элементов, работающих при высоких напряжениях): $V_{уст} = 1,5\ BLH$.

Сумма установочных объемов элементов меньше полного объема устройства.

На практике обычно пользуются отношением суммы установочных объемов элементов к общему объему устройства. Для таких радиолюбительских конструкций, как блоки питания или радиоприемники, это отношение составляет 0,3...0,6, а для передающих устройств — 0,2...0,3

При компоновке элементов на плоских печатных платах оперируют понятием установочной площади элемента, которую для большинства элементов вычисляют по формуле $S_{уст} = 1,25\ BL$. При определении полной площади платы вводят коэффициент ее увеличения, равный 2...3 (другими словами, полная площадь будет в 2—3 раза больше суммы установочных площадей всех элементов).

Оценка тепловых режимов

Детали радиоаппаратуры могут нагреваться за счет как внешних источников тепла (солнечная или тепловая радиация, повышение температуры окружающей среды), так и внутренних (резисторы с большой мощностью рассеивания, мощные транзисторы и диоды, трансформаторы питания и лампы) Повышение температуры влияет на электрические параметры устройства («уходит» настройка на радиостанцию, ухудшается качество работы, повышается энергопотребление, выходят из строя отдельные элементы и т п) и на работу различных его механизмов (верньерно-шкальных, лентопротяжных и т п), что проявляется в заедании осей, детонации звука и т д

Часто причиной нарушения нормальной работы служит неправильное расположение элементов устройства при компоновке Так, если в передатчике рядом должны быть расположены мощная генераторная лампа и кварцевый резонатор, то их надо разделить тепловым экраном, исключающим перегрев кварца В этом случае конвективные потоки тепла от лампы 1 (рис 2 10) не попадут на кварцевый резонатор 2 Полированная поверхность металлического экрана 3 отражает большую часть лучистых потоков тепла Для дальнейшего разделения использован теплоизоляционный экран 4, изолирующий кронштейн 5 от металлического экрана

Этот пример указывает на то, что при компоновке элементов следует быть внимательным к тепловым потокам в устройстве Расчеты тепловых режимов аппаратуры весьма сложны и, как правило, недоступны радиолюбителю-конструктору Поэтому следует внимательно анализировать конструкцию, чтобы правильно оценить качественную картину процессов теплообмена Для приближенной оценки можно ограничиться вычислением среднего потока тепловой энергии с единицы поверхности футляра Поскольку КПД радиоаппаратуры обычно намного меньше единицы, то для такой оценки можно пользоваться отношением мощности, потребляемой от источника питания, к поверхности футляра Это отношение не должно превышать примерно 0,02 Вт/см^2 для конструкций в металлическом корпусе и 0,01 Вт/см^2 — в пластмассовом или деревянном корпусе

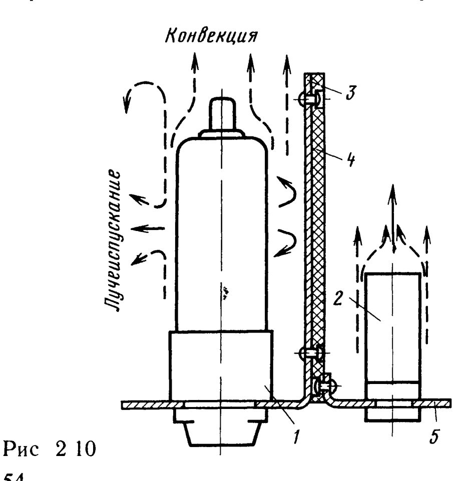


Рис 2 10

Расчет радиаторов для полупроводниковых приборов

Для обеспечения нормального режима работы мощных полупроводниковых приборов используют радиаторы различной конструкции, которые увеличивают эффективность теплоотвода, понижают температуру приборов, увеличивают надежность и срок их службы

Для расчетов радиаторов необходимо знать параметры, определяющие так называемые тепловые сопротивления отдельных участков системы «полупроводниковый прибор — радиатор» К ним относятся тепловые сопротивления «коллекторный переход — корпус транзистора», «корпус транзистора — радиатор» и «радиатор — окружающая среда»

Тепловое сопротивление «коллекторный переход — корпус транзистора (диода)» определяется конструкцией самого прибора и, естественно, не может быть изменено Для уменьшения теплового сопротивления «корпус транзистора (диода) — радиатор» поверхность радиатора в месте крепления полупроводникового прибора необходимо отшлифовать, проложить между ними тонкую свинцовую прокладку или смазать соприкасающиеся плоскости транзистора и радиатора невысыхающим маслом (например, силиконовым) Если корпус транзистора или диода необходимо изолировать от радиатора, то лучше изолировать весь радиатор от шасси

Для изготовления в любительских условиях наиболее подходят радиаторы в виде прямой или изогнутой пластины Расчет таких радиаторов несложен и может быть выполнен по графику, показанному на рис 2 11 Зная рассеиваемую полупроводниковыми приборами мощность P (Вт) и допустимую температуру перегрева Δt (от 10 до 70 °C), определяют площадь поверхности радиатора в виде пластины ее толщина должна быть 2 4 мм Следует учесть, что при введении

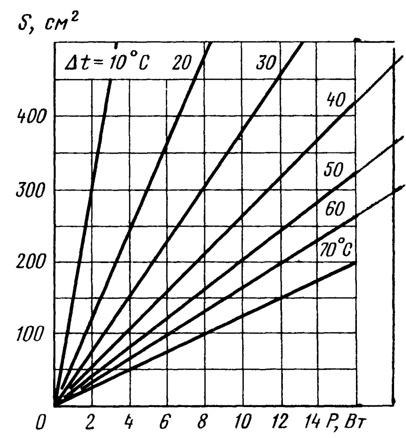


Рис 2 11

слюдяной прокладки эффективность радиатора уменьшается на 20...50 %, а это требует соответствующего увеличения его поверхности.

Конструкция радиаторов

Для изготовления радиаторов радиолюбителям наиболее доступны листовой алюминий или его сплавы. Использование для этого меди и ее сплавов нецелесообразно, хотя и несколько увеличивает эффективность радиатора. Дело в том, что радиаторы из этих материалов втрое тяжелее, к тому же медь очень вязка и поэтому плохо обрабатывается резанием.

Простейший радиатор представляет собой пластину (рис. 2.12, *а*). Для уменьшения теплового сопротивления между корпусом полупроводникового прибора и радиатором достаточно зачистить место установки полупроводникового прибора наждачной бумагой. Такой радиатор необходимо располагать вертикально, так как при этом почти вдвое увеличивается его эффективность. Если коллектор мощного транзистора должен быть соединен с металлической монтажной платой, ее можно использовать в качестве радиатора. Место установки диода или транзистора на радиаторе П-образной формы (рис. 2.12, *б*) необходимо обработать торцевой фрезой, чтобы получился ровный плоский участок необходимых размеров.

Основной недостаток самодельного ребристого радиатора (рис. 2.12, *в*) — большое тепловое соединение в местах прилегания отдельных пластин (на рисунке эти места выделены жирными линиями), вследствие чего часть поверхности пластин используется неэффективно. От этого недостатка свободны радиаторы, изготовленные из целого куска материала, например, фрезерованием (рис. 2.12, *г*).

Недопустимо для всех выводов транзистора средней или большой мощности делать в радиаторе общую прорезь. Отверстия в радиаторе, через которые проходят выводы электродов полупроводниковых приборов и винты, крепящие их накидные фланцы, должны быть возможно меньшего диаметра Исключением из этого правила является крепление транзисторов серии ГТ403, которые накидными фланцами не комплектуются: отверстие в радиаторе должно

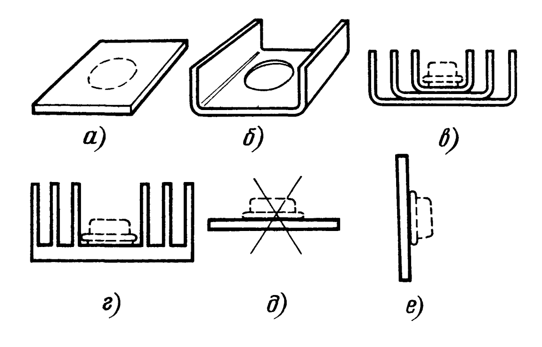


Рис. 2 12

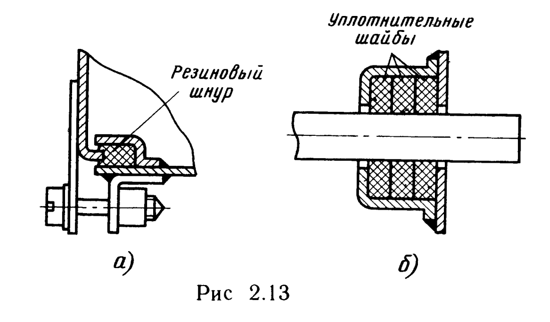


Рис 2.13

иметь диаметр, при котором обеспечивается тугая посадка цилиндрической части корпуса транзистора в его отверстие.

Для эффективного отвода тепла к радиатору должен быть открыт доступ воздуха, поэтому всегда следует стремиться к тому, чтобы радиаторы были расположены вне корпуса устройства, например на его задней стенке. Горизонтальное расположение пластинчатого радиатора (рис. 2.12, *д*) менее целесообразно, чем вертикальное (рис. 2.12, *е*).

Конструкция уплотнений

Уплотнения применяют для защиты аппаратуры от проникания влаги и пыли Уплотнительные прокладки (чаще всего резиновые), используют для герметизации мест стыка кожухов с крышками и вводов кабелей. Так, уплотнительная прокладка из резинового шнура (рис. 2.13, *а*) обеспечивает герметичность устройства при погружении его в воду на глубину до 2 м. Для герметизации мест вывода осей регулировочных элементов (осей переменных резисторов, валиков настройки и т п.) применяют набор фетровых шайб толщиной 3 .10 мм (рис. 2.13, *б*), пропитанных жидкими смазочными материалами.

Оценка паразитных связей. Конструкция экранов

При конструировании радиоаппаратуры важно учесть паразитные электрические связи, которые могут возникнуть между элементами устройства. Расчет этих связей очень сложен, поэтому остановимся только на некоторых конкретных рекомендациях по борьбе с ними.

Наиболее целесообразным способом защиты от паразитных взаимодействий является рациональная компоновка элементов устройства, но и в этом случае приходится использовать развязывающие фильтры и экраны

Развязывающие фильтры представляют собой соединение резистора или катушки с конденсатором (рис. 2.14, *а*). Для развязки каскадов ВЧ и ПЧ сопротивление резистора фильтра R может быть от 100 Ом до 10 кОм, а емкость конденсатора С — от 0,05 мкФ до 4300 пФ В развязывающих фильтрах НЧ устройств используют резисторы сопротивлением от 50 Ом

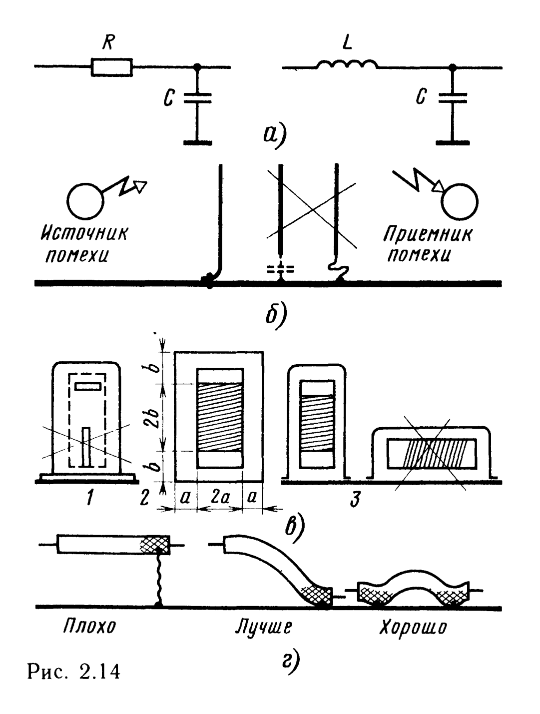


Рис. 2.14

до 1 кОм и конденсаторы емкостью от 100 до 3 мкФ

Для экранирования электрического поля (это чаще всего паразитные емкостные связи, зависящие от расстояния между элементами) применяют металлические перегородки, проводники или кожухи, электрически надежно соединенные с общим проводом устройства (рис. 2.14, *б*). Экраны изготовляют из листовой меди, латуни или алюминиевых сплавов толщиной от 0,3 до 1 мм (большую толщину выбирают не для повышения эффекта экранирования, а для того, чтобы обеспечить необходимую механическую прочность экрана).

Экранирование магнитного поля, создаваемого трансформаторами ЗЧ и трансформаторами питания, выполняется с помощью замкнутых экранов, изготовленных из материалов с высокой магнитной проницаемостью (специальные стали, пермаллой). Магнитные головки магнитофонов защищают от внешних электромагнитных полей многослойными экранами (пермаллой — латунь — пермаллой).

Экран катушек при плотной компоновке элементов целесообразно делать квадратного сечения. Размеры экрана следует выбирать так, чтобы они были примерно вдвое больше соответствующих размеров катушки (рис. 2.14, *в*, 2), а ее расположение в экране должно быть таким, как показано на рис. 2.14, *в*, 3.

Экранированные провода следует применять только в крайнем случае, так как они обладают сравнительно большой емкостью, а это в ряде случаев нежелательно. Кроме того, экранированные провода громоздки и требуют защиты оплетки от соединения с другими деталями и экранами, для чего приходится применять изоляционные оболочки. Необходимо экранировать кабели микрофонов и провода от звукоснимателей, записывающих и воспроизводящих магнитных головок.

Экранированным проводом или кабелем часто соединяют антенный соединитель или гнезда с входным устройством телевизора либо высокочувствительного радиоприемника. Соединять экранирующие оплетки с общим проводом (шасси) устройства следует так, как показано на рис. 2.14, *г*.

Примеры конструкторских расчетов

Расчет установочной площади микросхемы. Ширина и длина корпуса микросхемы 12 мм. Установочная площадь $S_{уст}=1{,}25\ BH=1{,}25\times1{,}2\times1{,}2=1{,}8$ см^2. С учетом коэффициента использования площади печатной платы (2...3) установочная площадь равна 3;6...5,4 см^2.

Расчет установочного объема элемента. Размеры резистора МЛТ-1 (с учетом монтажа) ширина (с зазором) 7, длина 20, высота (с учетом толщины платы и пайки) 9 мм. Установочный объем $V_{уст}=1{,}5\ BLH=1{,}5\times0{,}7\times2\times0{,}9=1{,}89$ см^3. Этот установочный объем можно использовать при компоновочных расчетах только при нагрузке резистора, не превышающей 0,1...0,2 номинальной. Для конденсаторов и остальных элементов определенные таким способом установочные объемы вполне пригодны для практических целей.

Расчет коэффициента использования объема. Сумма установочных объемов элементов 560 см^3, общий объем устройства 1580 см^3. Коэффициент использования объема 560 1580=0,354.

Сумма установочных объемов элементов приемника 275 см^3. Приняв коэффициент использования объема равным 1/3, получаем, что общий объем приемника должен быть не менее 825 см^3. При использовании в приемнике динамической головки ⌀60 мм и магнитной антенны с сердечником длиной 120 мм толщина приемника (без учета толщины стенок футляра) должна быть равна $825:(6\times12)=11{,}4$ см (114 мм). Из сравнения полученных размеров с размерами деталей, определяющих размеры приемника, видно, что такой приемник выполнить можно.

Расчет удельной тепловой плотности. Измерительный генератор в металлическом корпусе потребляет от сети 10 Вт. Площадь поверхности корпуса (без учета площади основания) равна 832 см^2. Удельная плотность 10:832=0,012 Вт/см^2. Полученное значение меньше допустимого (0,02 Вт/см^2), что гарантирует нормальную работу прибора. Если бы генератор был не в металлическом, а в деревянном или пластмассовом футляре, то для обеспечения нормального теплового режима его работы пришлось бы либо увеличить поверхность футляра, т. е. его объем, либо сделать в нем вентиляционные отверстия, либо, наконец, поставить радиаторы на все приборы с большей мощностью рассеивания.

Расчет радиатора. Транзитор должен нормально работать при температуре окружающей среды до 40 °С. Допустимая температура его коллекторного перехода не должна превышать 85 °С (т. е. перегрев не должен быть выше 45 °С) При рассеиваемой мощности 5 Вт и перегреве 50 °С (с запасом 5 °С) по графику на рис. 2.11 находим $S=100$ см^2.

2.5. ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И МОНТАЖ ЭЛЕМЕНТОВ

Основные требования техники безопасности

При выполнении монтажных, намоточных, слесарных и столярных работ радиолюбителю-конструктору приходится иметь дело и с высоким напряжением, и с раскаленными предметами, и с острыми и быстро вращающимися инструментами или звеньями механизмов, и с агрессивными химическими веществами

Для предохранения от поражения высоким напряжением запрещается выполнять электромонтажные работы в работающей радиоаппаратуре (особенно ламповой и с высоковольтными транзисторами и тиристорами). Снятие статического заряда (особенно опасного для полевых транзисторов и многих микросхем) обеспечивается применением заземляющего браслета. Можно использовать обычный металлический браслет от часов, соединенный с проводом заземления через резистор сопротивлением 1 МОм.

Необходима аккуратность и осторожность при работе с горячим паяльником, слесарными и столярными инструментами, клеями, лаками, кислотами и щелочами.

При работе с электрическим паяльником надо соблюдать следующие правила:

1. Периодически проверять омметром отсутствие замыкания между корпусом паяльника и нагревательным элементом Такое замыкание может стать причиной поражения током и порчи припаиваемых элементов. Поэтому рекомендуется работать с паяльником, жало которого заземлено

2. Использовать устойчивую подставку для паяльника, что предохранит его от падения, а работающего от ожогов.

3. Ни в коем случае не выполнять пайку в работающем (особенно высоковольтном) устройстве, так как случайное замыкание может вывести устройство из строя и быть причиной травмы.

При работе со слесарными инструментами надо быть внимательным и аккуратным, чтобы не пораниться резаком, напильником, лобзиком, сверлом или обрабатываемой деталью Для этого необходимо

1 Надежно зажимать сверло в патроне дрели специальным ключом

2 Просверливаемую деталь надежно закреплять, иначе она в конце сверления может начать вращаться вместе со сверлом, либо (при работе вдвоем) помощнику прочно удерживать деталь. Особенно осторожным и внимательным нужно быть при сверлении тонколистовых материалов.

3. Вырубание фасонных отверстий надо выполнять обязательно на массивной металлической подставке.

4 При работе с резаками обязательно подкладывать под разрезаемый лист фанерную прокладку, чтобы не повредить стол.

При работе с химическими веществами следует строго соблюдать все рекомендации по растворению, смешиванию, последовательности выполнения операций и температурному режиму. Работать необходимо в халате, а в отдельных случаях — в перчатках и защитных очках. Прежде всего необходимо оберегать глаза, губы и слизистые оболочки носа и горла, которые наиболее чувствительны к воздействию химических веществ На рабочем месте в аптечке надо иметь чистую вату и марлю (можно бинт), 5 %-ный раствор соды, вазелин, 2 %-ный раствор уксусной, лимонной или борной кислоты, настойку йода и лейкопластырь (желательно бактерицидный).

На участке тела, обожженного паяльником или брызгами припоя, надо сделать содовую примочку, а потом пораженное место смазать вазелином. Места ожогов кислотами обильно промыть водой и смочить содовым раствором Место ожога щелочами нужно обильно обмыть раствором уксусной (лимонной или борной) кислоты. При порезах и царапинах ранку залить раствором йода и заклеить лейкопластырем.

Если вы подверглись кратковременному удару током, необходимо прекратить работу до восстановления нормального состояния (прекращения головокружения, исчезновения зрительных и слуховых галлюцинаций и т п.) При сильном поражении током пострадавший, как правило, не в состоянии оторваться от токоведущего провода. В этом случае надо возможно быстрее, строго соблюдая при этом правила личной безопасности, выключить ток, сделать пострадавшему искусственное дыхание, расстегнуть одежду, поднести к носу кусочек ваты, смоченной нашатырным спиртом, или спрыснуть лицо холодной водой и немедленно вызвать врача

Области использования различных электромонтажных соединений

Основой электромонтажных соединений являются проводники из металлов или сплавов с малым сопротивлением, которые соединяют способами, обеспечивающими минимальное переходное сопротивление В радиолюбительской практике наибольшее распространение получили медные одно- или многожильные провода в изоляции (или без нее) и плоские ленточные проводники, которые получают в результате травления фольгированного материала

Для соединения проводников используют пайку, штепсельные соединители и всевозможные зажимные устройства (зажимы, винты)

Основной способ соединений в радиоаппаратуре — пайка. Другие виды соединений используются только как вспомогательные.

Проволочный монтаж

Для проволочного навесного монтажа используют медный посеребренный или луженый провод ⌀0,6...1,5 мм. Так как при навесном монтаже провода находятся на сравнительно большом расстоянии (2...10 мм), то обычно нет необходимости защищать их от соединений. Исключение составляют длинные перекрещивающиеся провода, которые необходимо изолировать изоляционными трубочками. Для надежности соединения — механической и электрической (удельное сопротивление припоя в 10 раз выше сопротивления меди) проводники рекомендуется предварительно закреплять (рис. 2.15, *а*).

Одножильный провод используют и при монтаже на платах с монтажными пистонами и лепестками (рис. 2,15, *б*). При пересечении проводников на них необходимо надеть изоляционные трубки. Лучше всего использовать трубки из ткани, пропитанной электроизоляционным лаком, так как они более стойки к воздействию температуры (например, при пайке). Пластмассовые трубки из поливинилхлорида, полиэтилена при пайке могут оплавиться, из-за чего возникнут замыкания.

Жгутовый монтаж выполняют гибким многожильным проводом с одно- или двухслойной нитяной оплеткой (из шелковой или синтетической нити) и пластмассовой оболочкой. Для того чтобы жгут сохранял круглую форму, его либо обвязывают нитками, либо крепят скобками, клейкой лентой или клеем (рис. 2.15, *в*). Жгуты обвязывают ниткой так, чтобы при ее продергивании получались самозатягивающиеся петли. Для прочности нитки, предназначенные для работы в условиях высокой влажности, протирают воском. Жгут прикрепляют к шасси специальными скобами. Если скоб много, то обвязку можно и не делать. При закреплении проводов клейкой лентой обмотку следует начинать с самого тонкого сечения жгута, иначе при высыхании клея форма жгута может измениться. Проводники можно склеить в плоский жгут и приклеить его к плате или к шасси; однако если шасси изготовлено из металла, то между проводниками и шасси будут большие паразитные емкости.

Очень важно правильно зачистить провод. Эмалевую изоляцию удаляют мелкой наждачной бумагой (рис. 2.16, *а*). Таким же способом можно удалить нитяную изоляцию, если ее предварительно обжечь в пламени спички или спиртовки. Многожильные эмалированные провода освобождают от изоляции, нагревая конец провода в пламени, а затем погружая его в спирт. Эмаль при этом растрескивается и частично осыпается. После этого провод достаточно протереть ваткой, смоченной спиртом, или самой мелкозернистой наждачной бумагой. Провод, изолированный высокопрочной эмалью (ПЭВ), можно зачищать только наждачной бумагой.

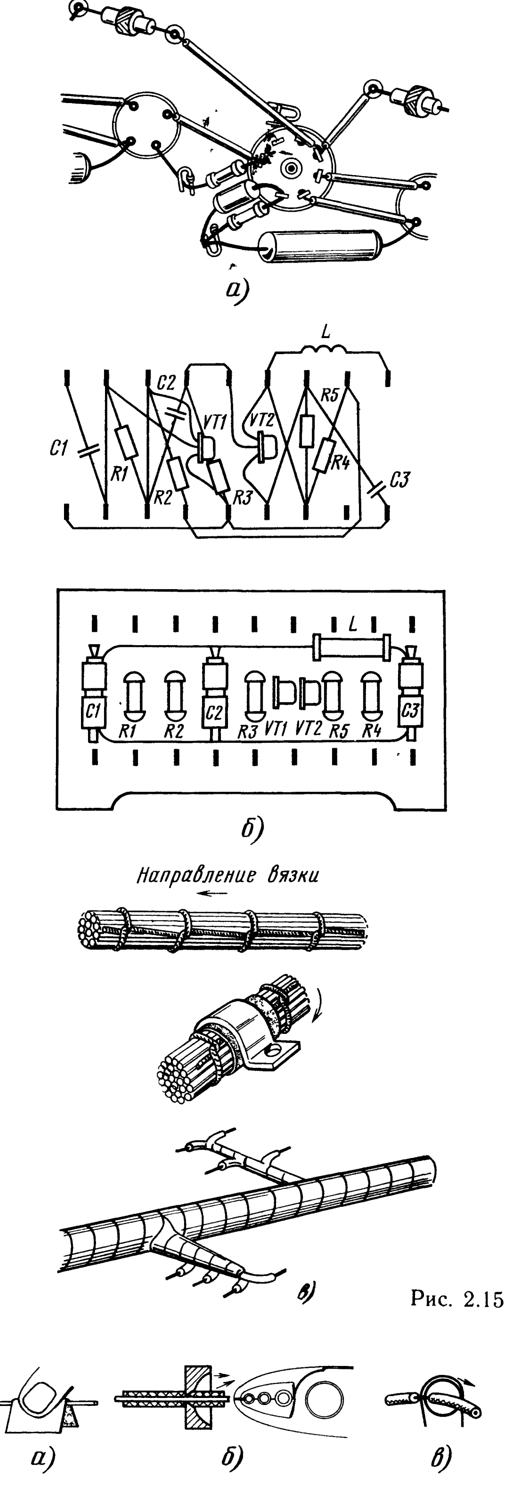


Рис. 2.15

Рис. 2.16

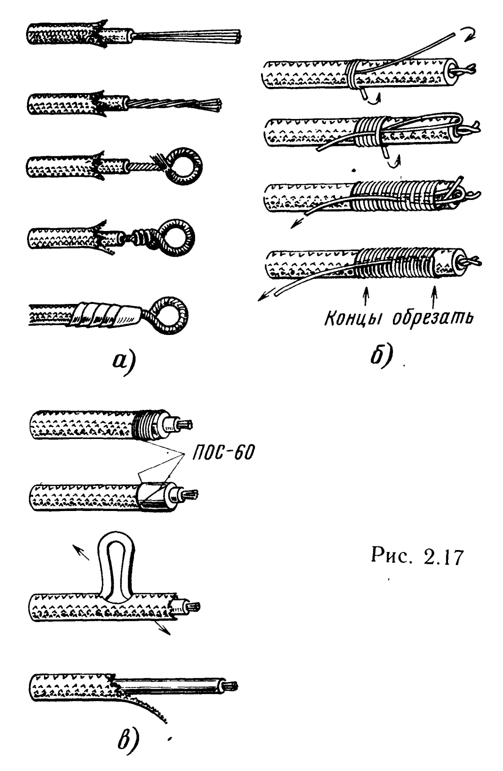


Рис. 2.17

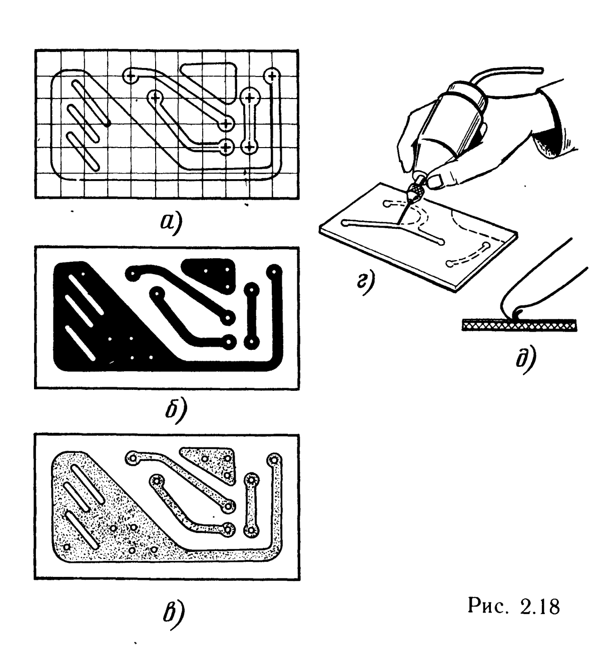


Рис. 2.18

Для удаления пластмассовой или нитяной изоляции удобно пользоваться кусачками, в губках которых просверлены отверстия с остро-заточенными краями (рис. 2.16, *б*). Очень простое и эффективное приспособление для удаления изоляции — обжигалка (рис. 2.16, *в*), представляющая собой виток провода спирали от электроплитки. Длину провода подбирают такой, чтобы при подключении его к источнику низкого напряжения (2...6 В) спираль нагревалась до красного каления за 2...5 с. Раскаленной спиралью сжигают изоляцию в месте касания, и отделившийся ее кусок легко снимается.

Последовательность операции заделки многоканального провода под зажим или винт показана на рис. 2.17, *а*. Для предотвращения разлохмачивания оплетку из ниток оклетневывают (рис. 2.17, *б*). Конец металлической оплетки экранированного провода зачищают от разлохмачивания пропайкой проволочных манжет или самой оплетки (рис. 2.17, *в*).

Печатный монтаж

Контуры печатных проводников с оригинала (§ 2.3) переносят с помощью копировальной бумаги на поверхность платы соответствующего размера, изготовленной из фольгированного гетинакса или стеклотекстолита (рис. 2.18, *а*). При этом нужно быть очень внимательным, чтобы по ошибке не получить на плате зеркальное изображение проводников. Проводники требуемой конфигурации получают химическим травлением или вырезают их контуры механическим способом.

Химическое травление. Участки фольги, которые на полученном рисунке должны оставаться в виде проводников, покрывают нитролаком, цепонлаком или клеем БФ, подкрашенным несколькими каплями чернил (рис. 2.8, *б*). После высыхания краски рисунок проверяют на соответствие чертежу проводников и при необходимости счищают все подтеки краски скальпелем. Затем помещают плату в раствор хлорного железа плотностью 1,3 (в стакан емкостью 200 см^3 кладут 150 г хлорного железа и заливают до краев водой). Само травление лучше вести в фотокювете подходящего размера, помешивая раствор стеклянной палочкой или покачивая кювету. При нормальной комнатной температуре процесс травления медной фольги заканчивается примерно через 1 ч, а при температуре раствора 40...50 °С — через 10...15 мин. Готовую плату (рис. 2.18, *в*) тщательно промывают сначала в холодной, а затем в горячей воде, быстро сушат (например, с помощью фена) и сразу же покрывают жидким канифольным лаком (раствором канифоли в спирту). В таком виде проводники платы длительное время сохраняют способность к легкой пайке.

Механический способ. По линиям, ограничивающим поверхности фольгированного материала, с которых необходимо удалить фольгу, с помощью фрезы зубоврачебного бора, зажатого в патрон, укрепленный на валу быстроходного электродвигателя (рис. 2.18, *г*), «сфрезеровывают» фольгу на глубину, несколько большую, чем ее толщина. Эту же работу можно выполнить с помощью резака, изготовленного из обломка ножовочного полотна (рис. 2.18, *д*). Поверхность готовой платы до установки деталей тщательно очищают от металлических стружек и пыли и также покрывают канифольным ла-

ком. Следует учесть, что из-за нарушения поверхности изоляционного материала качество изготовленной механическим способом платы хуже, чем при применении метода травления фольги. Тонкий фольгированный гетинакс для получения проводников механическим способом непригоден.

В центрах контактных площадок просверливают отверстия диаметром, несколько большим, чем диаметр выводов применяемых элементов (радиодеталей).

Фольгированный материал для печатных плат можно изготовить и в домашних условиях. Основой могут служить гетинакс, текстолит, стеклотекстолит толщиной 1...2 мм; фольгу можно взять медную или латунную толщиной примерно 0,05...0,06 мм. Зачистив материал основы и одну сторону фольги мелкозернистой наждачной бумагой, их промывают в растворе соды, ацетоне или эфире (можно просто тщательно протереть их поверхности марлевым тампоном с обезжиривающим составом) и покрывают тонким слоем клея БФ-2 или БФ-4. После того как один слой слегка подсохнет, наносят на основу и фольгу второй слой клея, помещают их под пресс и сушат в течение 48 ч при комнатной температуре или 3...4 ч при температуре 100 °C.

Монтаж элементов радиоаппаратуры

На печатных платах с односторонним фольгированием транзисторы, полупроводниковые диоды, резисторы и конденсаторы размещают со стороны, свободной от фольги, пропускают их выводы сквозь отверстия в контактных площадках и припаивают выводы к печатным проводникам.

При монтаже полупроводниковых диодов, транзисторов, микросхем, резисторов, конденсаторов, переключателей, реле, ламповых панелей и соединителей следует руководствоваться правилами их монтажа, выполнение которых гарантирует нормальную работу этих элементов. Эти правила следующие:

1. Так как современные элементы имеют малые размеры, а некоторые и сложное устройство, все электромонтажные операции надо выполнять тщательно и аккуратно.

2. Перед пайкой можно проводить формовку только выводов, выполненных из тонкого материала. При этом выводы допустимо изгибать на расстоянии не менее 5...8 мм от корпуса или вершины стеклянного проходного изолятора (рис. 2.19, *а*), а радиус изгиба должен быть по крайней мере в 3 раза больше диаметра вывода (рис. 2.19, *б*).

3. Пайку выводов обычных радиоэлементов, в том числе биполярных транзисторов, можно выполнять с применением стандартного паяльника мощностью 40 Вт, рассчитанного на непосредственное включение в электросеть напряжением 220 или 127 В. При монтаже аппаратуры с полевыми транзисторами и микросхемами следует применять низковольтный паяльник с ре-

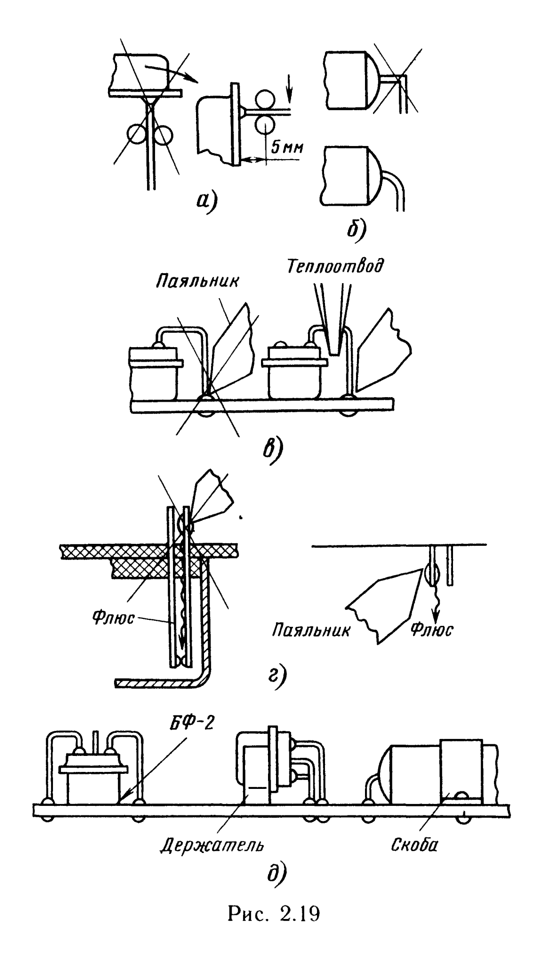


Рис. 2.19

гулируемой температурой нагрева. Включают такой паяльник через понижающий трансформатор, заземляя его вторичную обмотку. Применение автотрансформатора недопустимо!

Процесс пайки должен быть кратковременным — не более 3...8 с. Повторную пайку того же соединения (при необходимости) можно проводить не ранее чем через 3...4 мин.

Выводы элементов во время пайки необходимо держать плоскогубцами (рис. 2.19, *в*) или использовать другой какой-либо теплоотвод, иначе возможен перегрев элементов, что может привести к необратимому ухудшению их параметров (наиболее чувствительны к перегреву полупроводниковые приборы и микросхемы).

4. Поскольку полевые транзисторы и микросхемы могут быть повреждены электрическими зарядами небольшого потенциала, при монтаже этих полупроводниковых приборов необходимо принимать следующие дополнительные меры защиты:

а) работу проводить на столе, поверхность которого покрыта хлопчатобумажным материалом или антистатическим линолеумом;

б) применять деревянные стулья с матерчатой (не синтетической!) обивкой и электро-

проводящие настилы под ногами, обувь на кожаной подошве и одежду из хлопчатобумажной ткани;

в) заземлять надежно рабочий инструмент (жало паяльника, пинцет и т. п.) и корпус (общую шину) монтируемого устройства, панели; использовать заземляющий браслет;

г) исключать возможность соприкосновения выводов полевых транзисторов и микросхем с предметами, для которых свойственна возможность сильной электризации, например с предметами из синтетических материалов.

5. Пайку выводов переключателей и реле следует вести так, чтобы в контакты не попали расплавленный флюс и припой (рис. 2.19, *г*), которые могут нарушить нормальную работу этих элементов.

6. При подпаивании проводников к контактам ламповых панелей или соединителей необходимо в панели вставлять радиолампы, а в соединители — их ответные части: это уменьшает вероятность затекания в контакты расплавленного припоя и флюса.

7. Для закрепления деталей (кроме малогабаритных) на плате следует пользоваться клеем, специальными держателями и скобами (рис. 2.19, *д*).

Особенности монтажа и демонтажа микросхем

Современные радиоэлектронные устройства выполняют на микросхемах различных типов. Особенности монтажа и демонтажа микросхем определяются их конструкцией. Большинство микросхем не терпит нагревания, поэтому при пайке их выводов используют припои ПОСВ-33, ПОСК-50 и ПОС-61 с пониженной температурой плавления (130...182 °С) с применением спиртоканифольного флюса. Очень важно использовать рациональные приемы монтажа и демонтажа, так как в домашних условиях радиолюбителю трудно выполнить в полном объеме рекомендации соответствующих отраслевых стандартов. Описания некоторых приемов и особенностей применяемых инструментов были даны выше.

Паяльник для монтажа и демонтажа микросхемы должен иметь мощность не более 40 Вт и пониженное напряжение питания (12...36 В). Целесообразно снабдить паяльник набором сменных жал различных размеров и форм.

По конструкции выводов микросхемы можно разделить на две группы: с гибкими проволочными или ленточными выводами и с выводами в виде луженых контактных площадок или жестких лент. Монтируют микросхемы в следующем порядке.

Устанавливают и фиксируют её выводами в отверстиях или на площадках платы, предварительно слегка смоченных флюсом, набирают на жало паяльника минимальное количество припоя и последовательно выполняют пайку всех соединений. Для того чтобы уменьшить вероятность перегрева микросхемы, не следует паять подряд выводы, расположенные рядом. Один из рекомендуемых вариантов последовательности пайки четырнадцативыводной микросхемы таков: 10—14—3—9—13—4—8—12—5—1—11—6—2—7.

При монтаже и демонтаже микросхем в металлическом корпусе удобно пользоваться небольшим магнитом с прикрепленной к нему ручкой из жести. С его помощью легко установить микросхему на контактное поле платы и припаять два — четыре вывода. После этого магнит снимают и паяют остальные выводы.

При демонтаже микросхемы серии К155 и других в таком же корпусе очень полезным будет захват, который после расплавления припоя на всех выводах позволяет быстро снять микросхему с платы. Его можно изготовить из лабораторного зажима «крокодил». К опиленным губкам зажима припаивают или приклепывают две загнутые Г-образно пластины толщиной 0,8...1 мм. Когда губки зажима разжаты, захват надевают на микросхему со стороны торцов, вводя под нее загнутые концы пластин. После расплавления всех выводов захватом выдергивают микросхему из отверстий платы.

Перед монтажом микросхем серий К133, К134 и других в подобном корпусе их выводы обычно формуют, т. е. изгибают так, чтобы обеспечить одновременное прилегание к плате всех выводов. Сформовать выводы можно пинцетом, узкогубцами, но быстрее и лучше всего — в специальном приспособлении, состоящем из пуансона и матрицы (рис. 2.20). Их можно изготовить из органического стекла, текстолита, дюралюминия, латуни. Для более надежной работы приспособления его следует снабдить двумя направляющими хода пуансона (на рисунке не показаны). Направляющие можно изготовить из винтов М3 или М4 либо использовать готовые направляющие от соединителей ГРПМ.

При макетировании устройств на микросхемах бывает рациональнее использовать панели, подобные транзисторным или ламповым, а не перепаивать каждый раз выводы микросхемы, рискуя ее испортить. Панель обычно изготовляют из органического стекла, текстолита либо другого легко обрабатываемого изоляционного материала. Контакты можно использовать как готовые от заводских соединителей серий МНР или РГН, от панелей пальчиковых ламп, транзисторов, так и самодельные из гартованной латуни или бронзы.

Простую панель легко изготовить из резинки для стирания карандаша. Вырезают из резинки брусок размерами 22×14×9 мм. В нем по кондуктору сверлят необходимое число отверстий сверлом диаметром 1...1,2 мм. Из тонкой медной или

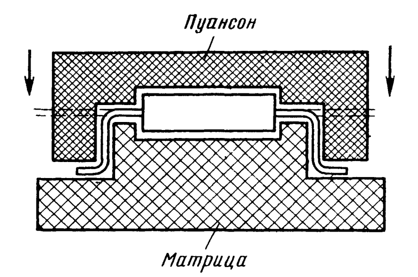


Рис. 2.20

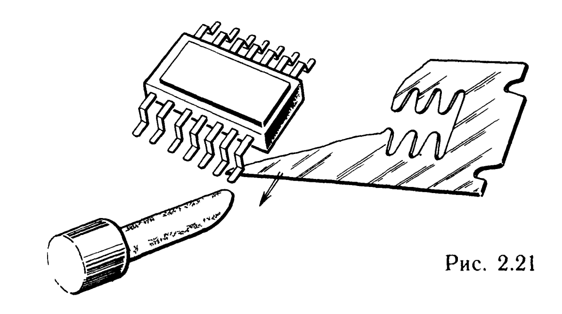


Рис. 2.21

латунной фольги вырезают ленты шириной 1,2. 1,5 мм и длиной около 32 мм, сгибают их в виде буквы Y и вставляют в отверстие в резинке. Панель приклеивают к печатной плате клеем 88 Н, а выводы пропускают в отверстия в плате и припаивают к проводникам.

Микросхемы серии К133 (и другие в подобном корпусе) демонтировать с печатной платы удобно следующим образом. Лезвие безопасной бритвы разламывают так, как показано на рис 2.21, и вводят под корпус микросхемы с тем, чтобы оно упиралось в места паек одного—трех крайних выводов. Нагревая паяльником одновременно эти пайки, лезвие смещают с усилием в направлении стрелки и при этом отделяют выводы от платы.

Для упрощения монтажа микросхем в круглых корпусах (серия К140 и др.) на печатную плату можно использовать пластмассовую втулку, с которой поставляются микросхемы. В плате сверлят отверстие диаметром 7,6 мм под втулку и вклеивают ее клеем БФ-2 так, чтобы бортик выступал с той стороны, где будет установлена микросхема Выводы микросхемы вставляют в отверстие втулки, отгибают и распаивают на контактные площадки.

В макетных и некоторых других устройствах иногда целесообразно выводы микросхем соединять не печатными, а навесными проводниками. Для этого лобзиком пропиливают в плате узкие щели, вводят в них выводы, отгибают их в разные стороны и припаивают к ним проводники диаметром 0,2...0,3 мм.

При макетировании и ремонте устройств на микросхемах иногда удобно пользоваться платами-переходниками. Их устройство и способ монтажа показаны на рис. 2.22, *а*. Разметить контактную площадку под микросхему можно посредством испорченной микросхемы с формованными выводами. К корпусу микросхемы припаивают ручку из медной проволоки. Смазав выводы лаком, «печатают» контактные площадки на фольге заготовки печатной платы. После этого соединительные проводники вычерчивают рейсфедером или пером. В качестве переходника можно использовать плату статора галетного переключателя, К внутренним концам контактных лепестков платы припаивают выводы микросхемы, а к наружным — детали устройства (рис. 2.22, *б*). Для удобства монтажа выводы переходника следует пронумеровать.

2.6. ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИЙ

Футляры и кожухи

Футляр и кожух — неотъемлемые части радиоустройств. Их назначение состоит в том, чтобы защитить радиодетали и монтаж от внешних механических и климатических воздействий, обеспечить необходимые акустические и эстетические показатели, удобство эксплуатации.

Футляры изготавливают из дерева, пластмассы или папье-маше, кожухи — из металла. Кожухи обладают повышенной механической прочностью и защищают конструкцию от электрических помех. Чаще всего металлические кожухи используют в измерительных приборах.

Футляры для малогабаритных радиоприемников могут иметь рамочную конструкцию (рис 2 23), основой которой является рамка из деревянных планок толщиной 3...5 мм, а передняя и задняя стенки изготовлены из тонкой фанеры. Углы рамки можно связать в шип (рис. 2.23, *а*), соединить с помощью металлических угольников (рис. 2.23, *б*) или шурупов (2.23, *в*). Вариант соединения, показанный на рис. 2.23, *б*, рекомендуется в том случае, если футляр необходимо покрыть лаком.

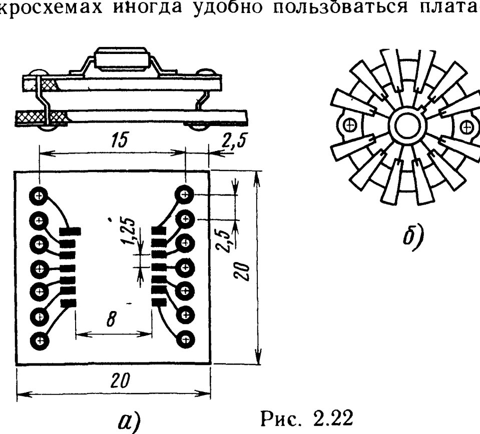


Рис. 2.22

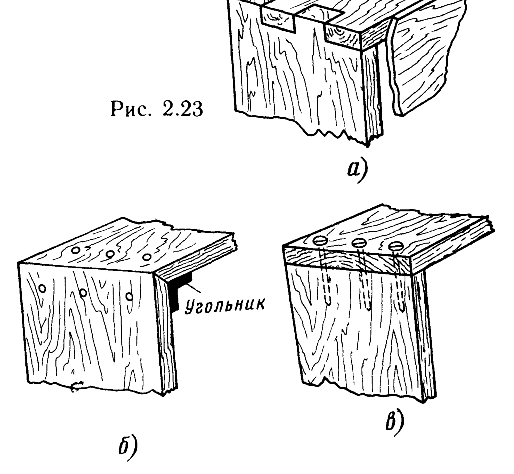


Рис. 2.23

Для легких малогабаритных устройств футляр можно изготовить из папье-маше. Для этого из куска дерева или пенопласта делают модель футляра, покрывают ее воском и последовательно оклеивают влажными листами газетной бумаги с жидким столярным клеем, давая каждым двум-трем слоям просохнуть. После окончательной сушки в течение двух-трех суток футляр грунтуют, окрашивают, аккуратно распиливают, еще раз окрашивают и полируют.

Кожухи изготавливают из листовых (толщиной 0,5...1,5 мм) алюминиевых и медных сплавов (латуни) и жести. Пайка алюминия и его сплавов в домашних условиях затруднена, поэтому детали кожухов из этих материалов соединяют заклепками или винтами. Латунь и жесть легко паяются, что значительно упрощает изготовление кожухов.

Декоративное покрытие

Деревянные поверхности отделывают различными способами: окрашивают, лакируют, оклеивают декоративными пленками. До окрашивания футляр необходимо хорошо просушить, аккуратно замазать все щели и неровности поверхности шпатлевкой (лучше использовать нитрошпатлевку, которая быстро сохнет и хорошо шлифуется). После этого футляр покрывают вначале двумя-тремя слоями грунта, а затем тремя — пятью слоями нитроэмали. Очень удобно пользоваться грунтами и эмалями в аэрозольной упаковке рижского химического завода «Аэрозоль». В аэрозольной упаковке выпускаются грунт марки 147 и нитроцеллюлозные эмали разного цвета. Можно использовать и нитроэмали для кожи. После окраски поверхность футляра полируют.

При лакировке требуется очень тщательная подготовка поверхности: заделка пороков древесины с учетом ее рисунка, неоднократная шлифовка предварительно смоченной поверхности вдоль и поперек волокон (для удаления ворса) и сушка. После этого с помощью пульверизатора наносят мебельный лак НМЦ (светлый или темный).

Используя самоклеящуюся декоративную отделочную пленку марки ПДС 0,12, можно без особых затрат труда и времени получить сравнительно высокое качество отделки. Пленка хорошо приклеивается к древесине, металлу, древесно-стружечной плите и другим материалам. Прочность приклеивания тем выше, чем меньше воздушных пор под пленкой.

Для отделки больших поверхностей можно использовать декоративный бумажно-слоистый пластик (ГОСТ 9590—76), на поверхность которого нанесен рисунок, имитирующий ценные породы древесины, малахит, мрамор и т. п.

Шкалы и приводные устройства

Шкала радиоприемника или измерительного прибора должна обеспечить оператору удобство в работе и иметь определенную эстетическую ценность, так как она обычно является одним из композиционных центров внешнего вида

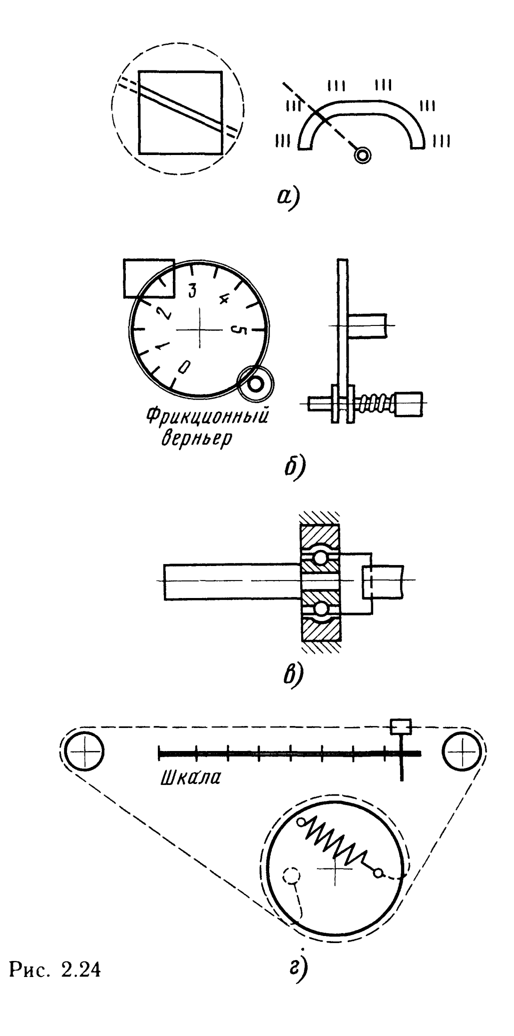


Рис. 2.24

изделия. Неотъемлемым элементом шкалы является ее приводное устройство.

Конструкции шкал и приводных устройств показаны на рис. 2.24, *а*, *б* и *г*. Круглая шкала может быть выполнена в виде плоского диска, к которому прижимается осью так называемый фрикционный верньер. Если диск тонкий, то на оси верньера ставят подпружиненную шайбу (рис. 2.24, *б*). Малогабаритный верньер, обеспечивающий передаточное число около 3, можно изготовить из шарикоподшипника (рис. 2.24, *в*).

Верньер может быть выполнен на основе фрикционных и зубчатых передач (например, от механизмов старых часов) или передачи с гибкой нитью (тросиком) — рис. 2.24, *г*. Тросиком могут служить металлическая струна от балалайки или мандолины, жильная струна скрипки, многожильная, капроновая, хлопчатобумажная или шелковая леска. Для повышения трения между валиком настройки и тросиком можно использовать толченую канифоль. Обязательным элементом передач с гибкой нитью является пружина, натяжением которой выбирается люфт механизма.

В радиолюбительских условиях наиболее доступен фотографический способ изготовления шкал. В этом случае оригинал шкалы вычерчивают в большом масштабе, надписи и цифры наклеивают (их можно вырезать из старых газет, журналов, проспектов). После фотографирования и уменьшения до натуральной величины получается очень четкая шкала.

Технологические советы

Обработка стальных деталей. Для получения хорошего качества защитных и декоративных покрытий поверхности стальных деталей необходимо обезжирить, пассивировать и декапировать. Для обезжиривания можно использовать следующие растворы: сода кальцинированная (или поташ) 100...150 г/л и жидкое стекло 2...3 г/л; сода кальцинированная 20 г/л и хромпик 1 г/л.

Для пассивирования, после которого поверхность металла делается пассивной в электрохимическом отношении, деталь следует поместить либо в 5 %-ный раствор хромовой кислоты (75 °C), либо в насыщенный раствор хромпика (60 °C), либо в мыльный раствор (100 °C).

Для декапирования — химического удаления пленки окиси с поверхности детали — используют 5 %-ный раствор серной или соляной кислоты. После обработки кислотой необходимо промыть детали в проточной воде. Одно из простейших защитных покрытий стальных деталей — воронение (образование на поверхности детали пленки окислов). Для этого деталь шлифуют и, если надо, полируют, тщательно обезжиривают и после нагрева до температуры 220...325 °C (например, в духовом шкафу) протирают ветошью, смоченной конопляным маслом. Другие растительные масла дают менее приятные цвета воронения.

Для получения прочных лакокрасочных покрытий поверхности стальных деталей необходимо тщательно очистить от ржавчины. Для этого деталь помещают в керосин на несколько часов, протирают рыбьим жиром, который через 1,5...2 ч удаляют вместе со ржавчиной.

Для быстрого удаления ржавчины рекомендуется в течение нескольких минут промыть деталь в растворе хлорного олова, а затем в теплой воде. Небольшие следы ржавчины удаляют кашицей из толченого древесного угля, замешанного на машинном масле.

После очистки поверхности деталь покрывают грунтом (его слой должен быть не более 0,2 мм толщиной, иначе уменьшится прочность лакокрасочного покрытия), а затем наносят два или большее число слоев краски мягкой кистью (слои должны быть взаимно перпендикулярны) или пульверизатором, используя аэрозольные лаки и краски.

Обработка деталей из меди и ее сплавов. Медь и ее сплавы очищают механическим путем шкуркой либо кашицей из мелкой поваренной соли с уксусом. Для обезжиривания используют смесь гашеной извести 35 г/л, едкого калия 10 г/л и жидкого стекла 3 г/л либо едкого натра 75 г/л и жидкого стекла 20 г/л, в которые помещают на 1 ч деталь при температуре раствора 90 °C. Декапирование проводят в течение 1 мин в 5 %-ном растворе серной кислоты.

Для никелирования зачищенную (если надо, то и отполированную) и обезжиренную деталь помещают в смесь 10 %-ного раствора хлористого цинка («паяльная кислота») и сернокислого никеля, которого в растворе должно быть столько, чтобы он имел густо зеленый цвет. После подготовки раствор нагревают до кипения и погружают в него на 1...2 ч деталь. После окончания процесса никелирования деталь переносят в меловую воду (10...15 г мела на стакан воды) и слегка протирают ветошью. После этого деталь промывают и протирают насухо.

Для серебрения можно воспользоваться отработанным фиксажем, в 300 мл которого добавляют 1...2 мл нашатырного спирта и 2...3 капли формалина; раствор следует хранить и работать с ним только в темноте. Зачищенную и промытую обезжиренную деталь помещают в раствор на 0,5...1,5 ч, после чего промывают в теплой воде, высушивают и протирают мягкой ветошью. Для растворов следует применять либо дистиллированную воду, либо воду, полученную изо льда бытовых холодильников.

Обработка деталей из алюминия и его сплавов. В любительских условиях чаще всего приходится выполнять операции обезжиривания, оксидирования, осветления и травления.

Для обезжиривания можно использовать смесь из тринатрийфосфата 50 г/л, едкого натра 10 г/л и жидкого стекла 30 г/л либо только едкий натр 50 г/л. Время обезжиривания первым раствором 2...3 мин при температуре раствора 50...60 °C, вторым — 3...5 мин при 50 °C.

Оксидирование выполняется в растворе из углекислого натрия 50 г/л, хромовокислого натрия 15 г/л и едкого натра 2,5 г/л при температуре 80...100 °C в течение 10...20 мин. Затем деталь промывают в воде и помещают в кипяток на 15...20 мин. Высушенную деталь желательно покрыть бесцветным лаком.

Для осветления деталь протирают раствором из буры 50 г/л и нашатырного спирта 5 мл/л, после высыхания которого деталь протирают ветошью. Для осветления силуминовых деталей (сплав алюминия с кремнием) деталь обезжиривают, зачищают и помещают на 10...20 мин в раствор из хромового ангидрида 100 г/л и серной кислоты с удельным весом 1,84 (10 г/л), после чего деталь промывают и сушат.

Разные технологические советы. Радиолюбительская практика выработала целый ряд простых и полезных технологических советов, часть из которых здесь приводится.

Места паек на печатной плате удобно закрашивать цапонлаком, изготовленным из нитроцеллюлозного клея «Аго», который разбавляют ацетоном в соотношении примерно 1:6 (по объему) и добавляют пасту для шариковых ручек желаемого цвета.

Если нужно сделать какие-либо надписи на передних панелях, шкалах или футлярах, то для этого можно использовать самодельные чернила из пасты для шариковых ручек и дихлорэтана; смешивать надо в хорошо закрывающемся со-

суде. Соотношение пасты и растворителя подбирается экспериментально. Надписи, выполненные такими чернилами, хорошо удерживаются на органическом стекле, винипласте, полистироле, поливинилхлориде и других пластиках и не смываются водой. Можно использовать также переводные буквы и цифры с сухих деколей (переводных знаков с прозрачных пленок)

Для нанесения защитного рисунка на заготовках печатных плат можно использовать пасту от шариковых авторучек Для этого лучше всего подогреть пластмассовую трубку пишущего стержня над огнем спички, растянуть трубку и в месте утоньшения трубки (после остывания) разрезать ее лезвием бритвы.. Такой «рейсфедер» мягко пишет и легко промывается. Другой способ выполнения рисунка печатных проводников — использование баллончика для заправки рейсфедеров тушью, в который наливается асфальто-битумный лак или лак БТ-242 Ширина дорожки получается 1...2 мм, а капля лака на конце баллончика позволяет выполнять контактные площадки ∅ 3.. 4 мм.

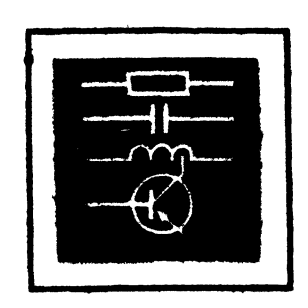
Для облегчения пайки проводники печатных плат следует облудить, что проще всего сделать следующим образом. Проводники зачищают до блеска мелкозернистой шкуркой и покрывают тонким слоем раствора канифоли в спирте Затем, пропитав кончик отрезка металлической оплетки кабеля припоем ПОС-81 или более легкоплавким, надо протирать оплетку, постепенно подпитывая ее припоем так, чтобы слой полуды был минимальной толщины

Простейшим механическим способом зачистки поверхности металлических деталей является использование красного ученического ластика для чернил. Таким ластиком можно очистить от окислов выводы деталей, участки проводников печатной платы, контакты.

Для облегчения выполнения монтажных работ очень полезной может оказаться «третья рука», выполненная из одного или нескольких зажимов «крокодил», особенно если они имеют возможность поворачиваться для закрепления детали при пайке практически в любом положении.

Для качественной пайки выводов микросхем их необходимо одинаково отформовать, что можно сделать с помощью простейшего приспособления из органического стекла (в виде двух деталей, выполняющих роль пуансона и матрицы), части которого сдвигаются на двух направляющих. При макетировании целесообразно выполнять переходные монтажные панельки для выводов микросхем, чтобы не делать многократных перепаек выводов.

В качестве декоративной панели громкоговорителя лучше всего использовать пластмассовые сетки для окон с широкими ячейками, под которые желательно поместить полотно из темной марли Сама сетка выпускается различных цветов, а при необходимости может быть окрашена нитроэмалью из пульверизатора.



КОМПОНЕНТЫ И ЭЛЕМЕНТЫ РАДИОАППАРАТУРЫ

РАЗДЕЛ 3

Содержание

3.1. РЕЗИСТОРЫ

Классификация

Для выбора и применения резисторов в любительских конструкциях электронных приборов их достаточно классифицировать по характеру изменения сопротивления, назначению и материалу резистивного элемента (рис. 3.1). Непроволочные резисторы в зависимости от материала токопроводящего слоя, в свою очередь, подразделяются на металлодиэлектрические, металлоокисные, металлизированные, углеродистые, бороуглеродистые, лакопленочные, керметные и на проводящей пластмассе.

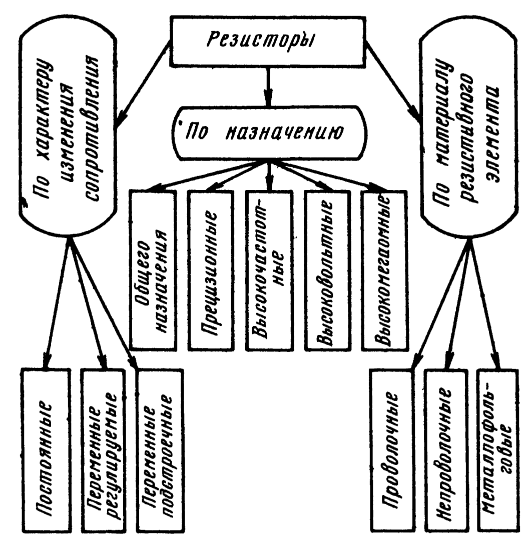


Рис. 3.1

Система условных обозначений

В соответствии с новой действующей системой сокращенное обозначение состоит из трех элементов (табл. 3.1).

В старой системе первый элемент обозначался по иному (С — резисторы постоянные; СП — резисторы переменные; СТ — терморезисторы; СН — варисторы). Второй элемент, как и в новой системе, был цифровой, но с более подробной детализацией по виду материала резистивного элемента (1 — углеродистые и бороуглеродистые; 2 — металлодиэлектрические и металлоокисные; 3 — композиционные пленочные, 4 — композиционные объемные; 5 — проволочные)

На резисторы наносится буквенно-цифровая маркировка. Она содержит: номинальную мощность, номинальное сопротивление, допуск и дату изготовления Номинальное сопротивление обозначается цифрами с указанием единицы измерения· Ом (R или E по старому или вообще без буквы) — омы, кОм (К) — килоомы, МОм (М) — мегаомы, ГОм (G) — гигаомы, ТОм (Т) — тераомы. Например, 220 Ом, 680 кОм, 3,3 МОм, 4,7 ГОм, 1 ТОм, или 220R, 680К. 3М3, 4G7, 1Т0 (в этом случае буква обозначает множитель $1,10^3$, 10^6, 10^9, 10^{12} и определяет положение запятой десятичного знака). Полное обозначение допуска состоит из цифр, а кодированное — из буквы. Для наиболее распространенных допусков используется следующая кодировка: ±20 % — М, ±10 % — К, ±5 % — J; ±2 % — G; ±1 % — F; ±0,5 % — D, ±0,25 % — С, ±0,1 % — В.

Параметры резисторов

Номинальная мощность и предельное напряжение. Под номинальной мощностью ($P_н$) понимается наибольшая мощность, которую резистор может рассеивать в заданных условиях в течение гарантированного срока службы (наработки) при сохранении параметров в установленных пределах. Мощность рассеяния зависит от конструкции резисторов, физических свойств материалов и температуры окружающей среды. Обычно для каждого конкретного типа резисто-

Таблица 3.1. **Система условных обозначений**

Элемент			Пример обозначения
первый	второй	третий	
Р — резисторы постоянные РП — резисторы переменные	1 — непроволочные; 2 — проволочные; металлофольговые	Порядковый номер разработки конкретного типа резистора	Р1-26 (постоянный непроволочный резистор с порядковым номером разработки 26)
ТР — терморезисторы с отрицательным ТКС, ТРП — терморезисторы с положительным ТКС	Полупроводниковые материалы не обозначаются	Порядковый номер разработки	ТР-7 (терморезистор с отрицательным ТКС с порядковым номером разработки 7)
ВР — варисторы постоянные, ВРП — варисторы переменные	То же	То же	ВРП-14 (варистор переменный с порядковым номером разработки 14)

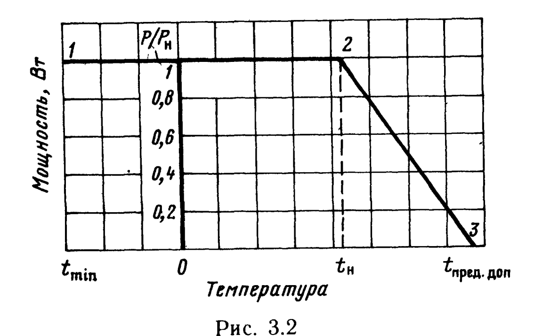


Рис. 3.2

Таблица 3.2. **Номинальные сопротивления по рядам**

Ряд	Числовые коэффициенты
Е6	1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8
Е12	1; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2
Е24	1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2; 2,2; 2,4; 2,7; 3; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1

ра приводят зависимость допустимой мощности от температуры окружающей среды (рис. 3.2), по которой выбирается электрическая нагрузка.

Конкретные значения номинальных мощностей рассеяния в ваттах устанавливаются согласно ГОСТ 24013—80 и ГОСТ 10318—80 и выбираются из ряда: 0,01; 0,025; 0,05; 0,062; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 8; 10; 16; 25; 40; 63; 80; 100; 160; 250; 500.

Рабочее напряжение резистора не должно превышать значения, рассчитанного исходя из номинальной мощности $P_н$ и номинального сопротивления $R_н$: $U \leqslant \sqrt{P_н R_н}$. Однако при больших номинальных сопротивлениях это напряжение может достигать таких значений, при которых возможен пробой. Поэтому для каждого типа резистора с учетом его конструкции устанавливается предельное рабочее напряжение $U_{пред}$.

Номинальное сопротивление и допуск. Номинальное сопротивление ($R_н$) — электрическое сопротивление, значение которого обозначено на резисторе или указано в нормативной документации и является исходным для отсчета отклонений от этого значения.

Номинальные сопротивления резисторов стандартизованы. Для постоянных резисторов согласно ГОСТ 2825—67 установлено шесть рядов Е6, Е12, Е24, Е48, Е96, Е192, а для переменных резисторов в соответствии с ГОСТ 10318—80 установлен ряд Е6. Цифра после буквы Е указывает число номинальных значений в каждом десятичном интервале (табл. 3.2).

Таблица 3.3. **Постоянные непроволочные резисторы**

Тип	Номинальная мощность, Вт (при t, °С)	Диапазон номинальных сопротивлений	Ряд промежуточных значений, допуск	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
				диаметр (ширина), D (B)	длина L	высота h	
Общего назначения							
С2-33Н	0,125 (85)	1 Ом...3 МОм	Е24, Е96 с допусками ±1; ±2; ±5; ±10 %	2,2	6	—	
	0,25 (85)	1 Ом...5,1 МОм		3	7	—	
	0,5 (85)	1 Ом...5,1 МОм		4,2	10,2	—	
	1 (85)	1 Ом...10 МОм		6,7	13	—	
	2 (85)	1 Ом...10 МОм		8,8	18,5	—	
МЛТ	0,125 (70)	8,2 Ом...3 МОм	Е24, Е96 с допусками ±2; ±5; ±10 %	2,2	6	—	
	0,25 (70)	8,2 Ом...5,1 МОм		3	7	—	
	0,5 (70)	1 Ом...5,1 МОм		4,2	10,2	—	
	1 (70)	1 Ом...10 МОм		6,6	13	—	
	2 (70)	1 Ом...10 МОм		8,6	18,5	—	
Р1-4	0,25 (70)	10 Ом...1 МОм	Е24, Е96 с допусками ±1; ±2; ±5 %	1,8	4	—	
	0,5 (85)	1 Ом...10 МОм		2,8	6,5	—	
Р1-11	0,25 (70)	1 Ом...3 МОм	Е24 с допусками ±1; ±2; ±5; ±10 %	2,2	5,9	—	
Р1-12	0,125 (70)	1 Ом...6,8 МОм	Е24 с допусками ±5; ±10; ±20 %	1,55	3,1	0,6	

Продолжение табл. 3.3

Тип	Номинальная мощность, Вт (при t, °С)	Диапазон номинальных сопротивлений	Ряд промежуточных значений, допуск	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
				диаметр (ширина), D (B)	длина L	высота h	
С1-4	0,125 (70)	10 Ом...2 МОм	Е24, Е48 с допу-	2,4	7,3	—	
	0,25 (70)	10 Ом...10 МОм	сками ±2; ±5;	3,9	10,5	—	
	0,5 (70)	10 Ом...10 МОм	±10;	5,5	16	—	
ВСа	0,125 (70)	10 Ом...2 МОм	Е24 с допусками	2,4	7,3	—	
	0,25 (70)	27 Ом...2,2 МОм	±5, ±10; ±20 %	5,5	16	—	
	0,5 (70)	27 Ом...10 МОм		5,5	26	—	
ВС	1 (40)	47 Ом...10 МОм	Е24, Е48 с допу-	7,6	30,9	—	
	2 (40)	47 Ом...10 МОм	сками ±5; ±10;	9,7	48,4	—	
	5 (40)	47 Ом...10 МОм	±20 %	25,3	7,6	—	
	10 (40)	75 Ом...10 МОм		40,3	120,5	—	
С4-2	0,25 (85)	10 кОм...5,1 МОм	Е24 с допусками	2,2	13,5	3,7	
	0,5 (85)	10 кОм...10 МОм	±5; ±10; ±20 %	2,2	19	3,7	
	1 (85)	10 кОм...10 МОм		4	29,5	5	
	2 (85)	10 кОм...10 МОм		5	36,5	6	
ТВО	0,125 (85)	1 Ом...100 кОм	Е24 с допусками	2,5	8	1,5	
	0,25 (85)	1 Ом...510 кОм	±5; ±10; ±20 %	3,7	13,5	2,2	
	0,5 (85)	1 Ом...1 МОм		3,7	19	2,2	
	1 (85)	1 Ом.. 1 МОм		5	29,5	4	
	2 (85)	1 Ом. 1 МОм		6	36,5		
	5 (85)	27 Ом...1 МОм	Е24 с допусками	11,5	77	9,5	
	10 (85)	27 Ом...1 МОм	±5 %; ±10;	15	112	10,5	
	20 (85)	24 Ом...100 кОм	±20 %	22,5	112	19,5	
	60 (85)	24 Ом...100 кОм		47	186	28	
			Прецизионные				
С2-29В	0,062 (85)	10 Ом...511 кОм	Е24, Е192 с допу-	2,3	6,5	—	
	0,125 (85)	1 Ом...1 МОм	сками ±0,05,	3,5	8	—	
	0,25 (85)	1 Ом...2,2 МОм	±0,1; ±0,25;	4,5	11	—	
	0,5 (85)	1 Ом...3 МОм	±0,5; ±1 %	7,5	14	—	
	1 (85)	1 Ом...8,5 МОм		9,8	20	—	
	2 (85)	1 Ом...20 МОм		9,8	28	—	
С2-36	0,125 (70)	10 Ом...2,2 МОм	Е192 с допусками ±0,5; ±1 %	2,2	6	—	
С2-14	0,125 (85)	10 Ом...1 МОм	Е192 с допусками	2,2	6	—	
	0,25 (85)	1 Ом...1 МОм	±0,1; ±0,25;	3	7,1	—	
	0,5 (85)	1 Ом...2,2 МОм	±0,5; ±1%	4,2	11	—	
	1 (85)	1 Ом...3 МОм		6,7	13	—	
	2 (85)	1 Ом...5,1 МОм		9	28	—	
БЛП	0,1 (70)	1 Ом...100 кОм	Е192 с допусками	5,7	16	—	
	0,25 (70)	1 Ом...100 кОм	±0,5; ±1 %	5,7	26	—	
				7,6	15,5	—	
	0,5 (70)	1 Ом...100 кОм	Е192 с допусками	7,6	29,6	—	
			±0,5; ±1 %	9,7	17		
	1 (70)	1 Ом...100 кОм		9,7	47,7	—	
				11,7	25,5		

Окончание табл. 3.3

Тип	Номинальная мощность, Вт (при t, °C)	Диапазон номинальных сопротивлений	Ряд промежуточных значений, допуск	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
				диаметр (ширина), D (B)	длина L	высота h	
БЛПа	0,1 (70)	1 Ом...100 кОм	Е192 с допусками ±0,5; ±1 %	5,3	16	—	
	0,25 (70)	1 Ом...100 кОм		5,3	26	—	
				7,3	15,6	—	
	0,5 (70)	1 Ом...100 кОм		7,3	30,1	—	
				9,4	17,1	—	
	1 (70)	1 Ом...100 кОм		9,4	47,7	—	
				11,3	25,6	—	
Высокочастотные							
С2-10	0,125 (70)	10 Ом...9,88 кОм	Е192 с допусками ±0,5; ±0,5; ±0,1 %	2	6	—	
	0,25 (70)	1 Ом...9,88 кОм		3	7	—	
	0,5 (70)	1 Ом...9,88 кОм		4,2	10,8	—	
	1 (70)	1 Ом...9,88 кОм		6,6	13	—	
	2 (70)	1 Ом...9,88 кОм		8,6	18,5	—	
С2-34	0,062 (70)	10 Ом...10 кОм	Е192 с допусками ±0,1; ±0,25; ±0,5 ±1 %	2,2	6	—	
	0,125 (70)	0,5 Ом...10 кОм		3	7	—	
	0,25 (70)	0,5 Ом...10 кОм		4,2	10,8	—	
	0,5 (70)	0,5 Ом...10 кОм		6,6	13	—	
	1 (70)	0,5 Ом...10 кОм		8,6	18,5	—	
С6-4	0,025 (70)	5,1 Ом...1 кОм	Е48 с допусками ±2; ±5 %	1	1	0,8	
	0,5 (70)	5,1 Ом...3 кОм		1	2	0,8	
				2	2	0,8	
	0,125 (70)	5,1 Ом...3 кОм		2	4	0,8	
С6-9	0,125 (70)	10 Ом...1 кОм	Е48 и дополнительный ряд с допуском ±2 %	1	1		
Высокомегаомные и высоковольтные							
С3-14	0,01 (55)	10 МОм...100 ГОм	Е6, Е12, Е24 с допусками ±5; ±10; ±20 %	6,2	29	—	
	0,05 (70)	100 кОм...47 МОм		1,6	3,2	—	
	0,125 (55)	1 МОм...1 ГОм		1,6	6,5	—	
	0,25 (55)	1 МОм...5,6 ГОм		4,3	15	—	
	0,5 (55)	470 кОм...5,6 ГОм		4,3	25	—	
	1 (70)	5,6 кОм...5,6 ГОм		6,2	29	—	
КВМ	—	15 МОм...1000 ГОм	Е12 с допусками ±2, ±5; ±10; ±20 %	5	41	—	
КЭВ	0,5 (40)	510 кОм...5,1 ГОм	Е24 с допусками ±5; ±10; ±20 %	5,5	25	—	
	1 (40)	510 кОм...5,1 ГОм		9	46	—	
	2 (40)	510 кОм...12 ГОм		9	90	—	
	5 (40)	510 кОм...18 ГОм		11	145	—	
	10 (40)	510 кОм...12 ГОм		32	124	—	
	20 (40)	1 МОм...22 ГОм		32	244	—	
	40 (40)	2,4 МОм...47 ГОм		53	324	—	

Т а б л и ц а 3.4. **Постоянные проволочные резисторы**

Тип	Номинальная мощность, Вт (при t, °C)	Диапазон номинальных сопротивлений	Ряд промежуточных значений, допуск	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
				диаметр (ширина) D (B)	длина L	высота h	
			Нагрузочные				
С5-35В, ПЭВ	3 (40)	3 Ом...510 Ом	Е12, Е24 с допусками ±5; ±10 %	14	26	28	
	7,5 (40)	1 Ом...3,3 кОм		14	35	28	
	10 (40)	1,8 Ом...10 кОм		14	41	28	
	15 (40)	3,9 Ом...15 кОм		17	45	31	
	25 (40)	10 Ом...24 кОм		21	50	35	
	50 (40)	18 Ом...51 кОм		29	90	43	
	75 (40)	47 Ом...56 кОм		29	140	43	
	100 (40)	47 Ом...56 кОм		29	170	43	
С5-36В, ПЭВР	10 (40)	3 Ом...220 Ом	Е12, Е24 с допусками ±5; ±10 %	14	41	28	
	15 (40)	5,1 Ом...220 Ом		17	45	31	
	25(40)	10 Ом...510 Ом		21	50	35	
	50 (40)	22 Ом...1,5 кОм		29	90	43	
	100 (40)	47 Ом...2,7 кОм		29	170	43	
С5-37	5 (40)	1,8 Ом...5,1 кОм	Е24 с допусками ±5; ±10 %	11	25,8	—	
	8 (40)	2,7 Ом...6,8 кОм		11	34,8	—	
	10 (40)	3,3 Ом...10 кОм		11	44,8	—	
	16 (40)	3,3 Ом...15 кОм		11	70,8	—	
С5-43	10 (85)	0,068 Ом...1 Ом	Е12, Е24 с допусками ±5; ±10 %	30	29	14	
	16 (85)	0,082 Ом...1 Ом		30	38	14	
	25 (85)	0,1 Ом...1 Ом		30	48	14	
	50 (85)	0,22 Ом.. 1 Ом		48	70	27	
	75 (85)	0,33 Ом...1 Ом		48	95	27	
	100 (85)	0,39 Ом...1 Ом		48	120	27	
С5-47	10 (85)	1 Ом...3,3 кОм	Е12, Е24 с допусками ±5; ±10 %	22	20	12	
	16 (85)	1,5 Ом...5,1 кОм		22	28	12	
	25 (85)	2 Ом...6,2 кОм		31	28	15	
	40 (85)	4,3 Ом...47 кОм		31	51	15	
			Прецизионные				
С5-5	1 (70)	1 Ом...13 кОм	Е24 с допусками ±0,05; ±0,1; ±0,2; ±0,5; ±1; ±2; ±5 %	6,15	20	—	
	2 (70)	2 Ом...30 кОм		6,15	27	—	
	5 (70)	5,1 Ом...75 кОм		11,2	33	—	
	8 (70)	10 Ом...100 кОм		12,2	42	—	
	10 (70)	10 Ом...180 кОм		12,2	52	—	
С5-16	1 (100)	0,1 Ом...2 Ом	Е24 с допусками ±0,5; ±1; ±2; ±5 %	9	19	—	
	2 (100)	0,1 Ом...2 Ом		11	24	—	
	5 (100)	0,1 Ом...5,1 Ом		11	32	—	
	8 (100)	0,39 Ом...10 Ом		12	42	—	
	16 (100)	0,51 Ом...10 Ом		12	51	—	
С5-53В	0,125 (70)	1 Ом...330 кОм	Е24; Е48; Е96; Е192 с допусками ±0,05; ±0,1; ±0,2; ±0,5; ±1 %	9	20	—	
	0,25 (70)	3,3 Ом...1 МОм		11	25	—	
	0,5 (70)	4,7 Ом...1,5 МОм		11	33	—	
	1 (70)	10 Ом...3,3 МОм		11	43	—	
	2 (70)	10 Ом...20 МОм		11	53	—	

Таблица 3.5. **Переменные непроволочные резисторы**

Тип	Номинальная мощность, Вт (при t, °C)	Функциональная характеристика	Диапазон номинальных сопротивлений	Ряд промежуточных значений, допуск	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
					диаметр (ширина) D (B)	длина L	высота h	
			Подстроечные					
СП-II	1 (25)	А	470 Ом...4,7 МОм	Е6 с допусками ±20; ±30 %	29	15	—	
	0,5 (25)	Б, В	4,7 кОм...2,2 МОм		29	15	—	
СП-IV	$\frac{1}{0,5}$ (25)	$\frac{А}{Б, В}$	$\frac{470 Ом...4,7 МОм}{4,7 МОм...2,2 МОм}$		29	32	—	
СП3-38	0,125 (40)	А	68 Ом...4,7 МОм	Е6 с допусками ±20; ±30 %	9,5; 15,5	11; 12; 16,5	4; 4,2; 7	
	0,25 (40)	А	68 Ом...4,7 МОм		15,5	16,5	7	
СП3-1	0,25 (55)	А	470 Ом...1 МОм	Е6 с допусками ±20; ±30 %	15,5	16,5	8,2	
СП3-22	0,125 (55)	А	100 Ом...1 МОм	Е6 с допуском ±20 %	9,5	11	3,6	
СП3-27	0,125 (40)	А	470 Ом...1 МОм	Е6 с допусками ±20; ±30 %	10	12	3,5	
	0,25 (40)	А	470 Ом...1 МОм		14	16	5	
	0,5 (40)	А	68 Ом...1 МОм		18; 20	20; 22, 23	4,5; 5,4; 6,6	
СП3-26	0,25 (40)	А	33 кОм...220 кОм	Е6 с допуском ±20 %	18	10	—	
	0,125 (40)	В	33 кОм...220 кОм		32	10	—	
СП3-9	0,5 (40)	А	1 кОм...4,7 МОм	Е6 с допусками ±10; ±20; ±30 %	16	14,5	—	
СП3-16	0,125 (70)	А	1 кОм...1 МОм	Е6 с допусками ±10; ±20; ±30 %	11,7	13,5	—	
СП3-24	0,25 (40)	А	680 Ом...1 МОм	Е6 с допусками ±20; ±30 %	14,5	56	18,3	
	0,125 (40)	Б, В	4,7 кОм...1 МОм		14,5	56	18,3	
СП3-36	—	В	100 кОм...220 кОм	Е6 с допуском ±20 %	5,7	43,2	8,6	
СП3-40	0,125	В, $В_1$	33 кОм...220 кОм	Е6 с допуском ±10 %	15	38	10	
	0,25	Д, $Д_1$	33 кОм...220 кОм		15	38	10	

Продолжение табл. 3.5

Тип	Номинальная мощность, Вт (при t, °C)	Функциональная характеристика	Диапазон номинальных сопротивлений	Ряд промежуточных значений, допуск	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
					диаметр (ширина) D (B)	длина L	высота h	
СП3-29М	0,5 (40)	А	68 Ом...15 МОм	Е6 с допусками ±20; ±30 %	26,5; 28,5	28,6; 30,6	6,6; 8	
СП3-29	1 (40)	А	1 МОм...10 МОм	Е6 с допуском ±30 %	28	32	11,3	
СП3-19	0,5 (70)	А	10 Ом. .1 МОм	Е6 с допусками ±10; ±20 %	6,6 6,5 10	4,1 7,5 9,3	— 9 —	
СП3-44	0,25 (70)	А	10 Ом...1 МОм	Е6 с допусками ±10; ±20 %	11	9	—	
	0,5 (70)	А	10 Ом...2,2 МОм		5,6; 11; 13	4; 7,4; 9	—	
	1 (70)	А	10 Ом...4,7 МОм		16,5	9	—	
СП3-37	1 (70)	А	10 Ом...1 МОм	Е6 с допусками ±10; ±20; ±30 %	6,5	35	8,5	
РП1-53	0,25 (40)	А	22 кОм	С допуском ±20 %	6	28	8	
РП1-48	0,25 (70)	А	10 Ом...2,2 МОм	Е6 с допусками ±10; ±20 %	2,5	12	4	
СП3-39	0,5 (70) 1 (70)	А А	10 Ом...6,8 МОм 10 Ом...2,2 МОм	Е6 с допусками ±10; ±20; ±30 %	10 13	10 13	5 5,7	
СП3-45б	0,5 (85) 1 (85) 2 (85)	А А А	100 Ом...10 МОм 100 Ом...10 МОм 100 Ом...10 МОм	Е6 с допусками ±10; ±20; ±30 %	12 16 21	16 17,5 20,5	— — —	
РП1-46б	0,5 (85)	А	33 Ом...10 МОм	Е6 с допусками ±10; ±20 %	10	10	—	
СП4-1	0,5 (70) 0,25 (70)	А Б, В	100 Ом...4,7 МОм 1 кОм...2,2 МОм	Е 6 с допусками ±10, ±20 %	12,8 12,8	12 12	— —	
СП4-2Мб	1 (70) 0,5 (70)	А Б, В	47 Ом...4,7 МОм 1 кОм...2,2 МОм	Е6 с допусками ±20; ±30 %	22 22	12 12	— —	
СП4-3	0,125 (70)	А	100 Ом...4,7 МОм	Е6 с допусками ±20; ±30 %	12	13	—	

Тип	Номинальная мощность, Вт (при t, °C)	Функциональная характеристика	Диапазон номинальных сопротивлений	Ряд промежуточных значений, допуск	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
					диаметр (ширина) D (B)	длина L	высота h	
			Регулировочные					
СП-1	1 (25)	А	470 Ом...4,7 МОм	Е6 с допусками ±20; ±30 %	29	15	—	
	0,5 (25)	Б, В	4,7 кОм...2,2 МОм		29	15	—	
СП-III	1/0,5 (25)	А/Б, В	470 Ом...4,7 МОм / 4,7 кОм...2,2 МОм		29	32	—	
СП-V	1/0,5/0,5 (25)	А/А/Б	10 кОм / 10 кОм / 22 кОм		29	48	—	
СП-0,4	0,4 (25)	А	470 Ом...4,7 МОм	Е6 с допусками ±20; ±30 %	16	12,5	—	
СП3-3	0,05 (40)	А	1 кОм...1 МОм	Е6 с допусками ±20; ±30 %	14	7,5; 9,2	—	
	0,025 (40)	В	4,7 кОм...1 МОм		14	9,2	—	
	0,025 (40)	Б	4,7 кОм...47 кОм		14	7,5	—	
СП3-4М	0,25; 0,125 (40)	А	220 Ом...470 кОм	Е6 с допусками ±20; ±30 %	16	11,5	—	
	0,125; 0,05 (40)	Б, В	4,7 кОм...470 кОм		16	21,5	—	
	0,05/0,25 (40)	А/А	220 Ом...470 кОм / 220 Ом...470 кОм		16	22,5	—	
	0,05/0,125 (40)	Б, В/Б, В	4,7 кОм...470 кОм / 4,7 кОм...470 кОм		16	22,5	—	
	0,05/0,25 (40)	Б, В/А	4,7 кОм...470 кОм / 220 Ом...470 кОм		16	22,5		
	0,125/0,125 (40)	А/Б, В	220 Ом...470 кОм / 4,7 кОм...470 кОм		16	22,5		
СП3-9	0,5 (40)	А	1 кОм...4,7 МОм	Е6 с допусками ±10; ±20; ±30 %	16	14,5		
СП3-10М	1 (40)	А	470 Ом...2,2 МОм	Е6 с допусками ±10; ±20; ±30 %	29	31	—	
	0,5 (40)	Б, В	4,7 кОм...2,2 МОм		29	31	—	
	1/2 (40)	А/А	470 Ом...4,7 МОм / 470 Ом...4,7 МОм		29	32	—	
	0,5/1; 0,25/1 (40)	Б, В/Б, В	4,7 кОм...2,2 МОм / 4,7 кОм...2,2 МОм		29	32; 47	—	

Продолжение табл. 3.5

Тип	Номинальная мощность, Вт (при t, °С)	Функциональная характеристика	Диапазон номинальных сопротивлений	Ряд промежуточных значений, допуск	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
					диаметр (ширина) D (B)	длина L	высота h	
	$\frac{0,5}{2}$; $\frac{0,25}{2}$ (40)	$\frac{Б, В}{А}$	4,7 кОм...2,2 МОм 470 Ом...4,7 МОм		29	32; 47		
	$\frac{1}{1}$ (40)	$\frac{А}{Б, В}$	470 Ом...4,7 МОм 4,7 кОм...2,2 МОм		29	32	—	
	$\frac{0,5}{2}$ (40)	$\frac{А}{А}$	470 Ом...2,2 МОм 470 Ом...4,7 МОм		29	47	—	
	$\frac{0,5}{1}$ (40)	$\frac{А}{Б, В}$	470 Ом...2,2 МОм 4,7 кОм...2,2 МОм		29	47	—	
СП3-16	0,125 (70)	А	1 кОм.. 1 МОм	Е6 с допусками ±10; ±20; ±30 %	11,7	13; 14	—	
СП3-23	0,25 (40) 0,125 (40)	А Б, В, С	220 Ом...4,7 МОм 1 кОм...2,2 МОм	Е6 с допусками ±20; ±30 %	11,5 11,5	50; 69, 86 50, 69; 86	18 18	
	$\frac{0,25}{0,125}$; $\frac{0,125}{0,05}$ (40)	$\frac{А}{Б, В, С}$	220 Ом...4,7 МОм 1 кОм...2,2 МОм		11,5	50; 69; 86	18	
	$\frac{0,05}{0,05}$ (40)	$\frac{Е}{И}$	22 кОм...2,2 МОм 22 кОм...2,2 МОм		11,5	69; 86	18	
	$\frac{0,25}{0,25}$; $\frac{0,125}{0,125}$ (40)	$\frac{А}{А}$	220 Ом...4,7 МОм 220 Ом...4,7 МОм		11,5	50; 69; 86	18	
	$\frac{0,125}{0,125}$; $\frac{0,05}{0,05}$ (40)	$\frac{Б}{Б}$; $\frac{В}{В}$; $\frac{С}{С}$	1 кОм...2,2 МОм 1 кОм...2,2 МОм		11,5	50; 69; 86	18	
	0,125 0,125 (40) 0,125 0,125	А А А А	220 Ом...4,7 МОм 220 Ом. .4,7 МОм 220 Ом...4,7 МОм 220 Ом...4,7 МОм		21	50	18	
	0,05 0,05 (40) 0,05 0,05	Б В С Б; В; С Б В С Б В С	1 кОм...2,2 МОм 1 кОм...2,2 МОм 1 кОм...2,2 МОм 1 кОм...2,2 МОм		21	50	18	

Продолжение табл. 3.5

Тип	Номинальная мощность, Вт (при t, °C)	Функциональная характеристика	Диапазон номинальных сопротивлений	Ряд промежуточных значений, допуск	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
					диаметр (ширина) D (B)	длина L	высота h	
СП3-30	0,25; 0,5 (40) 0,125 (40) 0,25 (40)	А Б, В Б, В	220 Ом...6,8 МОм 4,7 кОм...2,2 МОм 15 кОм...2,2 МОм		26 26 26	16; 27 16; 27 27	— — —	
	$\frac{0,25}{0,125}$ (40)	$\frac{А}{Б, В}$	220 Ом...6,8 МОм ————— 4,7 кОм...2,2 МОм	Е6 с допусками ±20; ±30 %	26	27	—	
	$\frac{0,125}{0,125}$ (40)	$\frac{Е}{И}$	100 кОм; 470 кОм; 1 МОм; 2,2 МОм ————— 100 кОм; 470 кОм; 1 МОм; 2,2 МОм		26	27	—	
	$\frac{0,125}{0,125}$ (40)	$\frac{Б, В}{Б, В}$	4,7 кОм...2,2 МОм ————— 4,7 кОм...2,2 МОм		26	27	—	
	$\frac{0,25}{0,25}$ (40)	$\frac{А}{А}$	220 Ом...6,8 МОм ————— 220 Ом...6,8 МОм		26	27	—	
	$\frac{0,125}{0,25}$ (40)	$\frac{Б, В}{А}$	4,7 кОм...2,2 МОм ————— 220 Ом...6,8 МОм		26	37	—	
СП3-33	0,25 (40) 0,125 (40)	А Б, В, С	100 Ом...4,7 МОм 1 кОм...2,2 МОм	Е6 с допусками ±10; ±20; ±30 %	16 16	10; 20; 21,5 10	23 23	
	$\frac{0,25}{0,25}$ (40)	$\frac{А}{А}$	100 Ом...4,7 МОм ————— 100 Ом...4,7 МОм		23	17,6; 27,6; 29	23	
	$\frac{0,125}{0,125}$ (40)	$\frac{Б, В, С}{Б, В, С}$	1 кОм...2,2 МОм ————— 1 кОм...2,2 МОм		23	17,6; 27,6	23	
	0,25 ————— 0,25 ————— 0,25 (40) ————— 0,25	А ————— А ————— А ————— А	100 Ом...4,7 МОм ————— 100 Ом...4,7 МОм ————— 100 Ом...4,7 МОм ————— 100 Ом...4,7 МОм		16	32,9; 44,4	23	
	0,125 ————— 0,125 ————— 0,125 (40) ————— 0,125	Б, В, С ————— Б, В, С ————— Б, В, С ————— Б, В, С	1 кОм...2,2 МОм ————— 1 кОм...2,2 МОм ————— 1 кОм...2,2 МОм ————— 1 кОм...2,2 МОм		16	32,9; 44,4	23	
СП3-45а	0,5 (85) 1 (85) 2 (85)	А А А	100 Ом...10 МОм 100 Ом...10 МОм 100 Ом...10 МОм	Е6 с допусками ±10; ±20 %	12 14 21	16 17,5 20,5	— — —	
РП1-46	0,5 (85) 1 (85) 2 (85)	А А А	100 Ом ...10 МОм 47 Ом...10 МОм 47 Ом...4,7 МОм	Е6 с допусками ±10; ±20 %	10 10 16	10 10 16; 17,4	— — —	

Окончание табл. 3.5

Тип	Номинальная мощность, Вт (при t, °С)	Функциональная характеристика	Диапазон номинальных сопротивлений	Ряд промежуточных значений, допуск	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
					диаметр (ширина) D (B)	длина L	высота h	
СП4-1а	0,5 (70) 0,25 (70)	А Б, В	100 Ом...4,7 МОм 1 кОм...2,2 МОм	Е6 с допусками ±20; ±30 %	12,8 12,8	12 12	— —	
СП4-2Ма	1 (70) 0,5 (70)	А Б, В	47 Ом...4,7 МОм 1 кОм...2,2 МОм	Е6 с допусками ±20; ±30 %	22 22	12 12	— —	

Примечания. 1. В подстроечных резисторах СП-II, СП-IV, СП3-26, СП3-9, СП3-16, СП3-45Б, РП1-46б и СП4-2Мб предусмотрено стопорение вала с помощью контргайки. 2. Регулировочные резисторы СП3-10, СП3-30 и СП3-33 имеют выключатель, рассчитанный на ток 2 А и напряжение 250 В, резисторы СП3-3 — на 150 мА; 50 В, резисторы СП3-4 — на 68 мА; 220 В или на 2 А; 7,5 В

Таблица 3. 6. **Переменные проволочные резисторы**

Тип	Номинальная мощность, Вт (при t, °С	Диапазон номинальных сопротивлений	Ряд промежуточных значений, допуск	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
				диаметр (ширина) D (B)	длина L	высота h	
			Подстроечные				
СП5-1В	1 (70)	100 Ом...10 кОм	Е6 с допуском ±5 %	8,5	35	6,5	
СП5-4В	1 (70)	100 Ом...10 кОм	Е6 с допуском ±5 %	14	35	7	
СП5-22	1 (70)	10 Ом...47 кОм	Е6 с допусками ±5; ±10 %	7	32,5	10,5	
СП5-24	1 (70)	10 Ом...47 кОм	Е6 с допусками ±5; ±10 %	7	32,5	9,5	
СП5-2В	1 (70)	3,3 Ом...47 кОм	Е6 с допусками ±5; ±10 %	13	13	6,4	
СП5-2ВА	0,5 (70)	3,3 Ом...22 кОм		10	10	5,4	
СП5-3В	1 (70)	3,3 Ом...47 кОм	Е6 с допусками ±5; ±10 %	13	13	5,9	
СП5-3ВА	0,5 (70)	3,3 Ом...22 кОм		10	10	5,4	
СП5-16ВА	0,25 (70) 0,5 (70) 1 (70)	3,3 Ом...22 кОм 3,3 Ом...33 кОм 4,7 Ом...47 кОм	Е6 с допусками ±5; ±10 %	11 13 16,5	9,7 9,7 9,7	— — —	
СП5-16ВБ	0,25 (70) 0,5 (70) 1 (70)	3,3 Ом...22 кОм 3,3 Ом...33 кОм 4,7 Ом...47 кОм		11 13 16,5	11,5 11,5 11,5	— — —	

Окончание табл. 3.6.

Тип	Номинальная мощность, Вт (при t, °С)	Диапазон номинальных сопротивлений	Ряд промежуточных значений, допуск	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
				диаметр (ширина) D (B)	длина L	высота h	
СП5-16ВВ	0,125 (70)	10 Ом...6,8 кОм	Е6 с допусками ±5; ±10 %	8	6	—	
СП5-16ВГ	0,05 (70)	47 Ом...4,7 кОм		6	4,2	—	
СП5-20В	2 (85)	4,7 Ом...22 кОм	Е6 с допусками ±5; ±10 %	23	14,7	—	
СП5-50М	3 (55)	47 Ом...1 кОм	Е6 с допуском ±10 %	27	14,5	—	
			Регулировочные				
ПП3-40...43	3 (100)	4,7 Ом...20 кОм	Е6 с допусками ±5; ±10 %	23	15	—	
ПП3-44...47	3 (70)	4,7 Ом...20 кОм		23	28,6	—	
СП5-30	15 (85) 25 (85) 50 (85)	2,2 Ом...47 кОм 2,2 Ом...47 кОм 2,2 Ом...47 кОм	Е6 с допусками ±5; ±10 %	35 35 48	26 44 67	— — —	
ППБ	1 (85) 2 (85) 3 (85) 15 (85) 25 (85) 50 (85)	100 Ом...10 кОм 100 Ом...10 кОм 2,2 Ом...47 кОм 2,2 Ом...47 кОм 2,2 Ом...47 кОм 2,2 Ом...47 кОм		18 20 25 35 35 48	12,5 16 22 26 44 67	— — — — — —	
СП5-37	75 (70)	47 Ом...3,3 кОм	Е6 с допусками ±10; ±20 %	72	36	—	

Номинальные сопротивления в каждой декаде соответствуют указанным в таблице числам или числам, полученным умножением либо делением их на 10^n, где n — целое положительное или отрицательное число.

Действительные значения сопротивлений резисторов вследствие погрешностей изготовления могут отличаться от номинальных. Разница между номинальным и действительным сопротивлениями, выраженная в процентах по отношению к номинальному сопротивлению, называется допускаемым отклонением от номинального сопротивления или кратко допуском. Согласно ГОСТ 9664—74 установлен ряд допусков; ±0,001; ±0,002; ±0,005; ±0,01; ±0,02; ±0,05; ±0,1; ±0,25; ±0,5; ±1; ±2; ±5; ±10; ±20; ±30 %.

Температурный коэффициент сопротивления. Температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) называется величина, характеризующая относительное изменение сопротивления на один градус Кельвина или Цельсия. ТКС характеризует обратимое изменение сопротивления резистивного элемента вследствие изменения температуры окружающей среды или изменения электрической нагрузки. Чем меньше ТКС, тем лучшей температурной стабильностью обладает резистор. Значения ТКС прецизионных резисторов лежат в пределах от единиц до $\pm 100 \cdot 10^{-6}$ 1/°С, а резисторов общего назначения — от десятков до $\pm 2000 \times 10^{-6}$ 1/°С.

Шумы резисторов. Различают собственные шумы и шумы скольжения.

Собственные шумы резисторов складываются из тепловых и токовых шумов. Их возникновение связано с тепловым движением свободных электронов и прохождением электрического тока. Собственные шумы резисторов тем выше, чем больше температура и напряжение. Высокий уровень шумов резисторов ограничивает чувствительность электронных схем и создает помехи при воспроизведении полезного сигнала.

Собственные шумы резисторов измеряют действующим значением ЭДС шумов и выражают в микровольтах на вольт приложенного напряжения. Значения ЭДС шумов большинства типов непроволочных резисторов от долей единиц до десятков микровольт на вольт. Исключение составляют лакопленочные и объемные композиционные резисторы, у которых ЭДС шумов может достигать сотен микровольт на вольт.

Шумы скольжения (вращения) присущи переменным резисторам. Они возникают в динами-

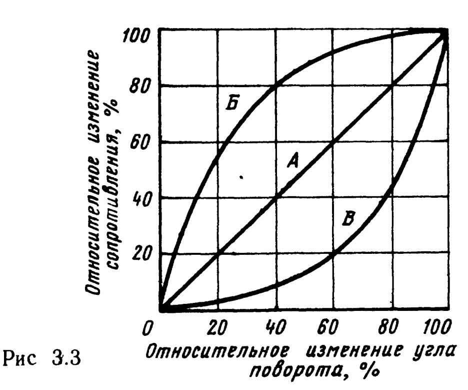


Рис 3.3

ческом режиме при движении подвижного контакта по резистивному элементу в виде напряжения помех. В приемных устройствах эти помехи приводят к различным шорохам и трескам. Уровень шумов перемещения значительно превышает уровень тепловых и токовых шумов. Даже для сравнительно хороших непроволочных переменных резисторов напряжение шумов вращения может достигать десятков милливольт (15 50 мВ).

Функциональная характеристика. Она определяет зависимость сопротивления переменного резистора от положения подвижного контакта. Наиболее распространенные зависимости — линейная А, логарифмическая Б и обратнологарифмическая В (рис 3.3).

Справочные данные о постоянных и переменных проволочных и непроволочных резисторах приведены в табл. 3.3—3.6.

3.2. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ РЕЗИСТОРЫ

Полупроводниковые нелинейные резисторы — изделия электронной техники, основное свойство которых, в отличие от линейных резисторов, заключается в способности изменять свое электрическое сопротивление под действием управляющих факторов: температуры, напряжения, магнитного поля и др. В зависимости от воздействующего фактора они получили название терморезисторы, варисторы, магниторезисторы. В последнее время их стали относить к управляемым полупроводниковым резисторам. Иными словами, это элементы, чувствительные к воздействию определенного управляющего фактора.

Терморезисторы или термисторы (ТР) — полупроводниковые резисторы с нелинейной ВАХ, отличительной особенностью которых является резко выраженная зависимость электрического сопротивления от температуры. Существуют терморезисторы как с отрицательным, так и с положительным температурным коэффициентом сопротивления — позисторы (табл. 3.7—3.11).

Терморезисторы используются в системах дистанционного и централизованного измерения и регулирования температур, противопожарной сигнализации, теплового контроля и защиты машин и механизмов, в схемах температурной компенсации ряда элементов электрических цепей и контуров, в частности для термокомпенсации кварцевых резонаторов и генераторов, для стабилизации режимов транзисторных каскадов, измерения мощности, измерения вакуума, скоростей движения жидкостей и газов, а также в качестве дистанционных бесконтактных переменных резисторов, ограничителей и предохранителей, реле времени, стабилизаторов напряжения, в схемах размагничивания масок цветных кинескопов и др

Терморезисторы характеризуют следующими основными параметрами.

Номинальное сопротивление $R_н$ — электрическое сопротивление, значение которого обозначено на ТР или указано в нормативной документации, измеренное при определенной температуре окружающей среды (для большинства типов ТР при 20 °С, а для ТР с высокими рабочими температурами до 300 °С при 150 °С). Конкретные значения номинальных сопротивлений устанавливаются в основном по ряду Е6 либо Е12. Другие ряды используются редко.

Температурный коэффициент сопротивления ТКС — как и в обычных линейных резисторах, характеризует обратимое изменение сопротивления на один градус Кельвина или Цельсия.

Максимально допустимая мощность рассеяния P_{max} — наибольшая мощность, которую длительное время может рассеивать ТР, не вызывая необратимых изменений характеристик, при этом его температура не должна превышать максимальную рабочую температуру.

Коэффициент температурной чувствительности В — определяет характер температурной зависимости данного типа ТР. Этот коэффициент наиболее известен как постоянная В, зависящая от физических свойств полупроводникового материала, из которого выполнен термочувствительный элемент.

Постоянная времени τ — характеризует тепловую инерционность. Она равна времени, в течение которого температура ТР изменяется на 63 % при перенесении его из воздушной среды с температурой 0 °С в воздушную среду с температурой 100 °С.

Варисторы — полупроводниковые резисторы с нелинейной ВАХ, отличительной особенностью которых является резко выраженная зависимость электрического сопротивления от приложенного к ним напряжения. Их используют для стабилизации и защиты от перенапряжений, преобразования частоты и напряжения, а также для регулирования усиления в системах автоматики, различных измерительных устройствах, источниках вторичного питания, в телевизионных приемниках для подстройки частоты гетеродинов, в генераторах переменного и импульсного пилообразного напряжения, в схемах размагничивания цветных кинескопов и др. (табл. 3.12).

Классификационное напряжение $U_{кл}$ — условный параметр, показывающий значение постоянного напряжения на варисторе при заданном значении классификационного тока.

Классификационный ток $I_{кл}$ — это ток, при котором определяется классификационное напряжение.

Таблица 3.7. **Терморезисторы с отрицательным ТКС прямого подогрева**

Тип	Диапазон номинальных сопротивлений при 20 °С	Допуск, %	Максимальная мощность при 20 °С, мВт	Диапазон рабочих температур, °С	ТКС при 20 °С, % С	Постоянная В, К	Постоянная времени τ, с	Область применения	Внешний вид
					Стержневые				
КМТ-1 ММТ-1 СТ3-1	22 кОм...1 МОм 1 кОм...220 кОм 680 Ом...2,2 кОм	±20 ±20 ±10; ±20	1000 600 600	—60...180 —60...125 —60...125	4,2...8,4 2,4...5 3,35...3,95	3600...7200 2060...4300 2870...3395	85 85 85	Изменение и регулирование температуры, температурная компенсация	
КМТ-4 ММТ-4	22 кОм...1 МОм 1 кОм...220 кОм	±20 ±20	650 560	—60...125 —60...125	4,2...8,4 2,4...5	3600...7200 2060...4300	115 115		
СТ3-6	6,8; 8,2 кОм	±10	150	—90...125	2,8...3,2	1200...2400	35		
ММТ-6	10 кОм...100 кОм	±20	50	—60...125	2,4...5	2060...4300	35		
КМТ-10	100 кОм...3,3 МОм	±20	250 в течение 2 с	0...125	⩾4,2	⩾3600	75	Тепловой контроль	
КМТ-11	100 кОм...3,3 МОм	±20	То же	0...125	⩾4,2	⩾3600	10		
СТ9-1А	150 Ом...450 Ом	—	800	—60...100	—	1600...2000	110	Регулирование температуры, сигнализация, нагревательные элементы термостатирующих устройств	
					Дисковые				
СТ1-2	82; 91; 100; 110 Ом	±5	700	—60...85	4,4...4,9	3800...4200	60...100	Температурная компенсация, измерение и регулирование температуры	

Продолжение табл 3 7

Тип	Диапазон номинальных сопротивлении при 20 °С	Допуск %	Максимальная мощность при 20 °С мВт	Диапазон рабочих температур °С	ТКС при 20 °С %/°С	Постоянная В К	Постоянная времени τ с	Область применения	Внешнии вид
СТ4 2	2,1 кОм 3,0 кОм	—	—	—60 125	4,2 4,8	3170 4120	—	Измерение температуры автотракторных двигателей	
СТ4 15	880 Ом 1,12 кОм	—	—	—60 155	3,4 3,8	2350 3260			
КМТ 8	100 Ом 10 кОм	±10, ±20	600	—60 70	4,2 8,4	3600 7200	909	Температурная компенсация	
ММТ 8	1 Ом 1 кОм	±10, ±20	600	—60 70	2,4 4	2060 3430	900	Температурная компенсация	
ММТ 9	10 Ом 4,7 кОм	±10, ±20	900	—60 125	2,4 5	2060 4300	—		
КМТ 12	100 Ом 10 кОм	±30	700	—60 125	4,2 8,4	3600 7200	—	Измерение и регулирование температуры, температурная компенсация	
ММТ 12	4,7 Ом 1 кОм	±30	700	—60 125	2,4 4	2060 3430	—		
ММТ 13	10 Ом 2,2 кОм	±20	600	—60 125	2,4 5	2060 4300	100		
КМТ 17в	330 Ом 22 кОм	±10, ±20	300	—60 155	4,2 7	3600 6000	30		
СТ1 17	300 Ом 22 кОм	±10, ±20	300	—60 100	4,2 7	3600 6000	30	Температурная компенсация, измерение и регулирование температуры	
СТ3 17	33 Ом 330 Ом	±10, ±20	300	—60 100	3 4,5	2580 3860	30		
СТ4 17	1,5 кОм 2,2 кОм	±10	500	—80 100	3,8 4,2	3260 3600	30		
СТ3 23	2,2 Ом 4,7 Ом	±10, ±20	—	0 125	3,1 3 8	2600 3200	—	Температурная компенсация	
СТ3 28	150 ОМ 3,3 кОм	±20	—	—60 125	3 4,6	2580 3970	—	Температурная компенсация	

Продолжение табл. 3.7.

Тип	Диапазон номинальных сопротивлений при 20 °C	Допуск, %	Максимальная мощность при 20 °C, мВт	Диапазон рабочих температур, °C	ТКС при 20 °C, %/°C	Постоянная B, K	Постоянная времени τ, с	Область применения	Внешний вид
ММТ-15	760 Ом...1,21 кОм	—	—	—60...125	2,6...4	2230...3430	—	Измерение и регулирование температуры, температурная компенсация	
ПТ, ПТ-2	80 Ом...400 Ом	±20	—	—60...150	4,4...4,8	3800...4100	—	Измерение и регулирование температуры	
ПТ-1	400 Ом...900 Ом	—	—	—60...150	4,1...5,1	3500...4400	—	Датчики автоматических регулируемых систем	
ПТ-3	400 Ом...900 Ом	±20	—	—60...150	4,3...4,8	3700...4100	—		
ПТ-4	600 Ом...800 Ом	—	—	—60...150	4,1...4,9	3500...4200	—		
ТР-3	1,2; 12 кОм	±10	1000	—60...125	3,9...4,8	3470...4270	—		
				Бусинковые					
КМТ-14	510; 680; 910 Ом 160; 200; 330 кОм 4,3; 7,5 МОм при 150 °C	±20	100	—10...300	2,1...2,5 3,4...4,2 3,5...4,3	3690...4510 6120...7480 6300...7700	10...60	Измерение и регулирование температуры	
СТ3-14	1,5; 2,2 кОм	±20	30	—60...125	3,2...4,2	2600...3600	4		
МКМТ-16	2,7; 5,1 кОм	±30	40	—60...125	3,8...4,2	3260...3600	10		
СТ1-18	1,5; 2,2 кОм 22; 33 кОм 1,5; 2,2 МОм при 150 °C	±20	45	—60...300	2,25...5 при 150 °C	4050...9000	1		
СТ3-18	680 Ом...3,3 кОм	±20	15	—90...125	2,6...4,1	2250...3520	1		

Тип	Диапазон номинальных сопротивлений при 20 °С	Допуск, %	Максимальная мощность при 20 °С, мВт	Диапазон рабочих температур, °С	ТКС при 20 °С, %/°С	Постоянная В, К	Постоянная времени τ, с	Область применения	Внешний вид
СТ1-19	3,3 кОм...10 кОм; 100; 150 кОм 1,5; 2,2 МОм при 150 °С	±20	60	—60...300	2,35...4 при 150 °С	4230...7200	3		
СТ3-19	2,2; 10; 15 кОм	±20	45	—90...125	3,4...4,5	2900...3850	3	Измерение и регулирование температуры	
СТ3-22	1 кОм при 25 °С	±30	8	—60...85	3.1...4,2	2700....3700	15	Переменное сопротивление без подвижного	
СТ3-25	1,5 кОм...6,8 кОм	±20	8	—100...125	3,05...4,3	2600...3700	0,4	Измерение и регулирование температуры	
СТ4-16	10 кОм...27 кОм	±5; ±10	150	—60...155	3,45...4,45	2720...3960	30	Измерение и регулирование температуры, температурная компенсация	
СТ4-16А	6, 8; 10; 15 кОм	±1; ±2; ±5	180	—60...200	4,05...4,45	3260...4100			
ТР-1	15; 33 кОм	±10; ±20	20; 50	—60...155	3;8...4,4	3200...3900	5...10		
ТР-2	15; 33 кОм	±10; ±20	20; 50	—60...155	3,8...4,4	3200...3900	5...10	Измерение и регулирование температуры, температурная компенсация	
ТР-4	1 кОм	±20	70	—60...200	1,8...2,2	1600...1960	3	Измерение и регулирование температуры, температурная компенсация, сигнализация уровня жидкости	

Таблица 3.8. **Терморезисторы с отрицательным ТКС — измерители мощности СВЧ**

Тип	Сопротивление в основной рабочей точке, Ом	Максимальная мощность в рабочей точке, мВт	Диапазон рабочих температур, °С	Чувствительность в рабочей точке, Ом/мВт	ТКС при 20 °С, %/°С	Постоянная В, К	Постоянная времени τ, с	Внешний вид
Т8Д	140...160	15		20...30	~1,7	~1500	1	
Т8Е	140...160	10		30...70	—	~1500		
Т8М	180...220	11		60...110	—	—		
Т8Р	115...135	12		10...19	~0,8	—		
Т8С1	110...130	24	—60...85	10...40	—	—		
Т8С2	140...160	19		12...25	—	—		
Т8С3	140...160	23		10...50	—	—		
Т8С1М	110...130	24		10...40	—	—		
Т8С2М	140...160	19		12...25	—	—		
Т8С3М	140...160	23		10...50	—	—		
Т9	115...135	19		10...40	—	—		
ТШ-1	150	12	—60...85	—	0,6...3,4	~1400	0,8	
ТШ-2	150	17,5	—60...85	—	0,3...2,3	~1850	1,3	
СТ3-29	2,2·10³ при 20 °С 200 в нагретом состоянии	31	—60...85	10...16	3,15...3,85	2700...3300	0,6...0,7	
СТ3-32	2,2·10³ при 20 °С 150 в нагретом состоянии	18,6	—60...70	20...30	3,15...3,85	2700...3300	0,6...0,7	

Примечание. Под чувствительностью ТР в рабочей точке при температуре окружающей среды 20 °С понимается изменение сопротивления ТР при изменении мощности рассеяния на 1 мВт

Таблица 3.9. **Терморезисторы прямого подогрева — стабилизаторы напряжения**

Тип	Номинальное напряжение, В	Общий предел стабилизации по напряжению, В	Максимально допустимое изменение напряжения, В	Средний рабочий ток, мА	Рабочая область по току, мА	Предельно допустимая кратковременная (на 2 с) перегрузка, мА	Внешний вид
ТП 2/0,5	2	1,6...3	0,4	0,5	0,2...2	4	
ТП 2/2	2	1,6...3	0,4	2	0,4...6	12	
ТП 6/2	6	4,2...7,8	1,2	2	0,4...6	12	

Коэффициент нелинейности β — отношение статического сопротивления в данной точке ВАХ к динамическому сопротивлению в той же точке.

Магниторезисторы — полупроводниковые резисторы с резко выраженной зависимостью электрического сопротивления от магнитного поля. Действие таких резисторов основано на использовании магниторезистивного эффекта, который заключается в изменении сопротивления резистора при внесении его в магнитное поле. Регулируя напряженность управляющего магнитного поля или перемещая резистор в поле постоянного магнита, можно управлять сопротивлением. Их используют в регуляторах громкости высококачественной радиоаппаратуры, в качестве датчиков угла поворота в специальных устройствах автоматики и т. п.

Основной характеристикой магниторезистора является зависимость его сопротивления от индукции воздействующего магнитного поля. Для оценки магниторезисторов пользуются магниторезистивным отношением сопротивления при воздействии магнитного поля R_B с определенным значением индукции (обычно 0,5 или 1 Т) к номинальному сопротивлению R_0 при отсутствии магнитного поля (табл. 3.13).

3.3. КОНДЕНСАТОРЫ

Классификация

В основу классификации конденсаторов положено деление их на группы по виду применяемого диэлектрика и по конструктивным особенностям, определяющим использование их в конкретных цепях аппаратуры (табл. 3.14). Вид диэлектрика определяет основные электрические параметры конденсаторов; сопротивление

Таблица 3 10 **Терморезисторы с отрицательным ТКС косвенного подогрева**

Тип	Диапазон номинальных сопротивлений	Номинальная мощность мВт	Диапазон рабочих температур °С	ТКС при 20 °С %/°С	Максимальный ток в цепи подогрева мА	Постоянная В К	Постоянная времени τ с	Область применения	Внешний вид
ТКП-20 ТКПМ-20	500 Ом	220	—60 85	~2,2	40	~1850	45	Дистанционное управление усилением в электронных системах, реле времени Регулируемые бесконтактные резисторы	ТКПМ ТКП
ТКП-50 ТКПМ-50	2,5 кОм	200	—60 85	~2,8	35	~2400	79		
ТКП-300А ТКПМ-300А	10 кОм	24	—60 85	—	20	—	17		
СТ1-21	6,8 150 кОм	60	—60 85	3,25 5,75	25	2880 4920	15 40	Регулируемые бесконтактные резисторы	
СТ3-21	680 Ом 1,5 кОм	60	—60 85	2,9 4,6	25	2560 3840	15 40		
СТ1-27	33 кОм	70	—60 85	4,3 5,25	27	3690 4510	4 6		
СТ3-27	2,2 кОм	70	—60 85	3 4,45	26	2560 3840	4 6		
СТ1-30	33 кОм	—	—60 85	4,2 5,1	120	3600 4400	6 12	Измерение скоростей газов и жидкостей	
СТ1-31	4,7 кОм	194	—60 85	—	44	3690 4510	6 12	Регулируемые бесконтактные резисторы	
СТ3-31	680 Ом	90	—60 85	3,15 3,85	29,1	2700 3300	4 6		
СТ3-33	680 Ом	—	—60 85	3 4	29,1	2790 3410	4 10		

Таблица 3.11. **Терморезисторы с положительным ТКС — позисторы**

Тип	Диапазон номинальных сопротивлений при 20 °С	Максимальная мощность, Вт	Диапазон рабочих температур, °С	Диапазон температур положительного ТКС, °С	Максимальный ТКС при 20 °С, %/°С	Кратность изменения сопротивления в области положительного ТКС	Постоянная времени τ, с	Область применения	Внешний вид
СТ5-1	20...150 Ом	0,7	—20...200	100...200	20	1000	20	Измерение и регулирование температуры, противопожарная сигнализация, тепловая защита, ограничение и стабилизация тока	
СТ6-1А	40...400 Ом	1,1	—60...155	40...155	10	1000 при 25...140 °С	20		
СТ6-16	180; 270 Ом	0,8	—60...125	20...125	15	1000 при 25...100 °С	20		
СТ6-3Б	1...10 кОм	0,2	—60...125	10...125	15	100 при 25...80 °С	10		
СТ6-4Б	100...400 Ом	0,8	—60...125	20...125	15	1000 при 25...100 °С	40		
СТ6-4Г	5...25 кОм	0,8	—60...125	—20...125	2...6	5...15	40	Измерение и регулирование температуры	
СТ11-1Г	100...300 Ом	0,8	—60...125	—20...125	6...9	20...80	40		
СТ6-1Б1	100...400 Ом	0,8	—60...100	30...100	15	1000 при 25...100 °С	20	Нагревательные элементы и датчики температуры, термостатирование. Ограничение и стабилизация тока	
СТ6-2Б	10...100 Ом	1,3	—60...100	10...100	15	1000 при 25...100 °С	20		
СТ6-5Б	3...20 Ом	2,5	—60...125	20...125	15	1000	10		
СТ6-6Б	5...25 Ом	2,5	—60...125	20...125	15	1000	180		
СТ10-1	30...100 кОм	0,3...0,7	—60...70	—20...70	2...4	~10	50	Температурная компенсация	
СТ14-3	80...200 Ом	0,5	—60...175	100...175	—	—	—	Саморегулирующиеся нагревательные элементы СВЧ устройств	
СТ15-2-127 В	15...35 Ом	3 $U_{пред}$= =150 В I=24 мА	—60...60	60...160	15	10 000 при 25...160 °С	—	В схемах размагничивания масок цветных кинескопов	—
СТ15-2-220 В	20...50 Ом	3 $U_{пред}$= =250 В I=12 мА	—60...85	60...160	15	10 000 при 25...160 °С	—		

Таблица 3.12. **Варисторы**

Тип	Номинальная мощность, Вт	Диапазон рабочих температур, °С	Классификационное напряжение, В	Допуск по классификационному напряжению, %	Коэффициент нелинейности β, не менее	Классификационный ток, мА	Внешний вид
СН1-1-1	1	—40...100	560 680, 820, 1000, 1200 1300, 1500	±10	3,5 4 4,5	10	
СН1-1-2	0,8	—40...100	560 680 1300	±10	3,5 4 4,5	10	
СН1-2-1	1	—40...100	56, 68, 82, 100, 120, 150, 180, 220, 270	±10; ±20	3,5	2	
СН1-2-2	1	—40...100	15, 18, 22, 27, 33, 39, 47 56, 68, 82, 100	±10; ±20	3 3,5	3	
СН1-6	2,5	—60...125	33	±10	4	20	
СН1-8	2	—40...70	20 000, 25 000	—	6	25...75	
СН1-9	0,01	—60...70	240, 270, 300, 330, 360	±5	5	0,05	
СН1-10	3	—40...125	15, 18 22, 27, 33, 39, 47	±10	3,2 3,5	10	
СН1-11	0,25	—60...100	120	±10	4	2	
СН1-12	0,01	—60...70	120, 150, 160, 180, 200, 220, 240, 270, 300, 330	±10	5	0,03	
СН1-14 (переменный)	2	—40...60	8500	—	4,5	0,025... 0,075	
СН1-16Б (переменный)	2	—40...70	5400	—	4	0,02... 0,06	
СН2-2А			330, 360, 390, 430, 470, 510, 560, 620, 680, 750, 820, 910				
СН2-2Б СН2-2В	—	—45...85	1000, 1100, 1200, 1300, 1500	±5; ±10; ±20	30	1	
СН2-2Г							
СН2-2Д	—	—45...85	560, 620, 680, 750, 820, 910, 1000, 1100, 1200	±5; ±10	30	1	

Таблица 3.13. **Магниторезисторы**

Тип	Номинальное сопротивление R_0, Ом	Допуск, %	Диапазон рабочих температур, °С	Магниторезистивное отношение R_B/R_0 в поле с индукцией, не менее		Максимально допустимая мощность рассеяния, мВт		Внешний вид
				0,5 Т	1,0 Т	Без теплоотвода	С теплоотводом	
MR-1	50	±20	—	3,5	7	5	20	
MR-2	75	±20	—	3,5	7	5	20	
MR-3	100	±20	—	3,5	7	5	20	
СМ1-1	22; 33	±20	—60...85	—		—	0,125	
	68; 100			—	6,8; 10		0,25	
	150; 220						0,5	
СМ4-1	47	±20	—60...85	3,3	—	6	—	

изоляции, стабильность емкости, потери и др. Конструктивные особенности определяют характер их применения: помехоподавляющие, подстроечные, дозиметрические, импульсные и др.

Система условных обозначений

Условное обозначение конденсаторов может быть сокращенным и полным.

Сокращенное условное обозначение состоит из букв и цифр. Первый элемент — буква или сочетание букв — обозначает подкласс конденсатора: К — постоянной емкости; КТ — подстроечные; КП — переменной емкости. Второй элемент обозначает группу конденсатора в зависимости от вида диэлектрика (табл. 3.14). Третий элемент пишется через дефис и соответствует порядковому номеру разработки. В состав второго и третьего элементов в отдельных случаях может входить также буквенное обозначение.

Для старых типов конденсаторов в основу условных обозначений брались конструктивные, технологические, эксплуатационные и другие признаки (например, КД — конденсаторы дисковые, ФТ — фторопластовые теплостойкие, КТП — конденсаторы трубчатые, проходные).

Маркировка на конденсаторах может быть буквенно-цифровая, содержащая сокращенное обозначение конденсатора, номинальное напряжение, емкость, допуск, группу ТКЕ, дату изготовления, либо цветовая.

В зависимости от размеров конденсаторов применяются полные или сокращенные (кодированные) обозначения номинальных емкостей и их допускаемых отклонений. Незащищенные конденсаторы не маркируются, а их характеристики указываются на упаковке.

Полное обозначение номинальных емкостей состоит из цифрового значения номинальной емкости и обозначения единицы измерения (пФ — пикофарады, мкФ — микрофарады, Ф — фарады).

Кодированное обозначение номинальных емкостей состоит из трех или четырех знаков, включающих две или три цифры и букву. Буква кода из русского или латинского алфавита обозначает множитель, составляющий значение емкости, и определяет положение запятой десятичного знака. Буквы П (р), Н (n), М (μ), И (m), Ф (F) обозначают множители 10^{-12}, 10^{-9}, 10^{-6}, 10^{-3} и 1 соответственно для значений емкости, выраженной в фарадах. Например, 2,2 пФ обозначается 2П2 (2р2), 1500 пФ — 1Н5 (1n5), 0,1 мкФ — М1 (μ1), 10 мкФ — 10М (10μ), 1 фарада — 1Ф0 (1F0).

Допускаемые отклонения емкости (в процентах или в пикофарадах) маркируются после номинального значения цифрами или кодом (табл. 3.15).

Цветовая кодировка применяется для маркировки номинальной емкости, допускаемого отклонения емкости, номинального напряжения до 63 В (табл. 3.16) и группы ТКЕ (см. табл. 3.18, 3.19). Маркировку наносят в виде цветных точек или полосок.

Параметры конденсаторов

Номинальная емкость и допускаемое отклонение емкости. Номинальная емкость ($C_н$) — емкость, значение которой обозначено на конденсаторе или указано в сопроводительной документации. Фактическое значение емкости может отличаться от номинальной на величину допускаемого отклонения. Номинальные значения емкости стандартизованы и выбираются из определенных рядов чисел путем умножения или деления их на 10^n, где n — целое положительное или отрицательное число. Наиболее употребляемые ряды номинальных емкостей приведены в табл. 3.17 (значения допускаемых отклонений емкостей см. в табл. 3.15).

Номинальное напряжение ($U_н$). Это напряжение, обозначенное на конденсаторе (или указанное в документации), при котором он может рабо-

Таблица 3.14. **Условное обозначение конденсаторов в зависимости от материала диэлектрика**

Подкласс конденсаторов	Группа конденсаторов	Обозначение группы
Конденсаторы постоянной емкости	Керамические на номинальное напряжение ниже 1600 В	10
	Керамические на номинальное напряжение 1600 В и выше	15
	Стеклянные	21
	Стеклокерамические	22
	Тонкопленочные	26
	Слюдяные малой мощности	31
	Слюдяные большой мощности	32
	Бумажные на номинальное напряжение ниже 2 кВ, фольговые	40
	Бумажные на номинальное напряжение 2 кВ и выше, фольговые	41
	Бумажные металлизированные	42
	Оксидно-электролитические алюминиевые	50
	Оксидно-электролитические танталовые, ниобиевые и др.	51
	Объемно-пористые	52
	Оксидно-полупроводниковые	53
	С воздушным диэлектриком	60
	Вакуумные	61
	Полистирольные	71 (70)
	Фторопластовые	72
	Полиэтилентерефталатные	73 (74)
	Комбинированные*	75
	Лакопленочные	76
	Поликарбонатные	77
	Полипропиленовые	78
Подстроечные конденсаторы	Вакуумные	1
	С воздушным диэлектриком	2
	С газообразным диэлектриком	3
	С твердым диэлектриком	4
Конденсаторы переменной емкости	Вакуумные	1
	С воздушным диэлектриком	2
	С газообразным диэлектриком	3
	С твердым диэлектриком	4

* Комбинированный диэлектрик состоит из определенного сочетания слоев различных материалов

Таблица 3.15. **Допускаемые отклонения емкости от номинального значения**

Допускаемое отклонение емкости, %	Код	Допускаемое отклонение емкости, %	Код	Допускаемое отклонение емкости, пФ	Код
±0,1	B (Ж)	±20	M (B)	±0,1	B
±0,2	C (У)	±30	N (Ф)	±0,25	C
±0,5	D (Д)	−10 +30	0 —	±0,5	D
±1	F (P)	−10 +50	T (Э)	±1	F
±2	G (Л)	−10 +100	Y (Ю)		
±5	J (И)	−20 +50	S (Б)		
±10	K (C)	−20+ +80	Z (A)		

Примечание В скобках указано старое обозначение

Таблица 3.16. **Цветовые коды для маркировки конденсаторов**

Цветовой код	Номинальная емкость, пФ: первая и вторая цифры	Номинальная емкость, пФ: множитель	Допускаемое отклонение емкости	Номинальное напряжение, В
Серый	—	—	—	3,2
Черный	10	1	±20 %	4
Коричневый	12	10	±1 %	6,3
Красный	15	10^2	±2 %	10
Оранжевый	18	10^3	±0,25 пФ	16
Желтый	22	10^4	±0,5 пФ	40
Зеленый	27	10^5	±5 %	25 или 20
Голубой	33	10^6	±1 %	32 или 30
Фиолетовый	39	10^7	−20... +50 %	50
Серый	47	10^{-2}	−20... +80 %	—
Белый	56	10^{-1}	±10 %	63
Серебряный	68	—	—	2,5
Золотой	82	—	—	1,6

тать в заданных условиях в течение срока службы с сохранением параметров в допустимых пределах. Номинальное напряжение зависит от конструкции конденсатора и свойств применяемых материалов. При эксплуатации напряжение на конденсаторе не должно превышать номинального. Для многих типов конденсаторов с увеличением температуры (как правило, более 70...85 °С) допускаемое напряжение (U_t) снижается.

Тангенс угла потерь (tg δ). Характеризует активные потери энергии в конденсаторе. Значение тангенса угла потерь у керамических высокочастотных, слюдяных, полистирольных и фторопластовых конденсаторов лежат в пределах $(10...15)\cdot10^{-4}$, поликарбонатных $(15...25)\cdot10^{-4}$,

Таблица 3.17. **Наиболее употребляемые ряды номинальных значений емкостей**

E3	E6	E12	E24	E3	E6	E12	E24
1	1	1	1		3,3	3,3	3,3
			1,1				3,6
		1,2	1,2			3,9	3,9
			1,3				4,3
	1,5	1,5	1,5	4,7	4,7	4,7	4,7
			1,6				5,1
		1,8	1,8			5,6	5,6
			2				6,2
2,2	2,2	2,2	2,2		6,8	6,8	6,8
			2,4				7,5
		2,7	2,7			8,2	8,2
			3				9,1

керамических низкочастотных 0,035, оксидных конденсаторов (5...35 %), полиэтилентерефталатных 0,01...0,012.

Величина, обратная тангенсу угла потерь, называется *добротностью конденсатора.*

Сопротивление изоляции и ток утечки. Эти параметры характеризуют качество диэлектрика и используются при расчетах высокомегаомных, времязадающих и слаботочных цепей. Наиболее высокое сопротивление изоляции у фторопластовых, полистирольных и полипропиленовых конденсаторов, несколько ниже у высокочастотных керамических, поликарбонатных и лавсановых конденсаторов. Самое низкое сопротивление изоляции у сегнетокерамических конденсаторов.

Для оксидных конденсаторов задают ток утечки, значения которого пропорциональны емкости и напряжению. Наименьший ток утечки имеют танталовые конденсаторы (от единиц до десятков микроампер). У алюминиевых конденсаторов ток утечки, как правило, на один-два порядка выше.

Таблица 3.19. **Изменение емкости керамических конденсаторов с ненормируемым ТКЕ**

Условное обозначение группы	Допустимое изменение емкости в интервале температур от —60 до +85 °C	Новое обозначение*	Старое обозначение	
			цвет покрытия	цвет маркировочного знака
H10	±10	Оранжевый+черный	Оранжевый	Черный
H20	±20	Оранжевый+красный	»	Красный
H30	±30	Оранжевый+зеленый	»	Зеленый
H50	±50	Оранжевый+голубой	»	Синий
H70	—70	Оранжевый+фиолетовый	»	—
H90	—90	Оранжевый+белый	»	Белый

* В случаях, когда для обозначения группы требуется два цвета, второй цвет может быть представлен цветом корпуса

Температурный коэффициент емкости (ТКЕ). Это параметр, применяемый для характеристики конденсаторов с линейной зависимостью емкости от температуры, определяет относительное изменение емкости (в миллионных долях) от температуры при изменении ее на один градус Цельсия. Значения ТКЕ керамических конденсаторов и их кодированные обозначения приведены в табл. 3.18.

Таблица 3.18. **Значения ТКЕ керамических конденсаторов и их условные обозначения**

Обозначение групп ТКЕ	Номинальное значение ТКЕ ($\cdot 10^{-6}$ 1/°C)	Цветовой код		
		Новое обозначение*	Старое обозначение	
			цвет покрытия конденсаторов	маркировочная точка
П100 (120)	+100 (+120)	Красный+фиолетовый	Синий	—
П60	+60	—	»	Черная
П33	+33	Серый	Серый	—
МП0	0	Черный	Голубой	Черная
М33	—33	Коричневый	»	Коричневая
М47	—47	Голубой+красный	»	—
М75	—75	Красный	»	Красная
М150	—150	Оранжевый	Красный	Оранжевая
М220	—220	Желтый	»	Желтая
М330	—330	Зеленый	»	Зеленая
М470	—470	Голубой	Красный	Синяя
М750 (М700)	—750 (—700)	Фиолетовый	»	—
М1500 (М1300)	—1500 (—1300)	Оранжевый+оранжевый	Зеленый	—
М2200	—2200	Желтый+оранжевый	»	Желтая

* В случаях, когда для обозначения группы ТКЕ требуется два цвета, второй цвет может быть представлен цветом корпуса

Таблица 3.20. **Конденсаторы с неорганическим диэлектриком**

Тип	Номинальное напряжение, В	Группа ТКЕ	Диапазон номинальных емкостей, пФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм: диаметр (ширина)	Габаритные размеры, мм: длина	Габаритные размеры, мм: высота	Внешний вид
				Керамические	*низковольтные*			
КД-1	250; 100	П100 П33 МП0 М47 М75 М750 М1500	1...7,5 1...10 1...18 1...15 1...39 10...56 18...130	±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	4,5...6,5	3	—	
	160	Н30 Н70	330...660 680...2200	+50/−20; +80/−20 (ряд Е6)				
КД-2	500	П100 П33 МП0 М47 М75 М470 М750 М1500	1...12 1...30 1...39 1...43 1...68 3,3...120 3,3...150 15...270	±5; ±10 ±20 (ряд Е24)	4...16,5	5	—	Вар. „а” Вар. „б” Вар. „в”
		Н20	100...3300	±20				
	250	Н50	100...4700	+50/−20; +80/−20 (ряд Е6)	6...18	6	—	
	300	Н70	470...6800		4...16,5	5	—	
	250	Н90	1 000...15 000					
КТ-1	250; 160	П100 П33 М47 М75 М750	1...30 1...62 1...75 1...130 2,2...270	±5; ±10 ±20 (ряд Е24)	3,5	10...20	—	
		М1500	15...560					
	80	Н70	680...10 000	+50/−20; +80/−20				

Продолжение табл 3 20

Тип	Номинальное напряжение В	Группа ТКЕ	Диапазон номинальных емкостей пФ	Допуск % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры мм			Внешний вид
					диаметр (ширина)	длина	высота	
КТ 2	500, 300	П100	2,2 30	±5, ±10, ±20 (ряд E24)	7	12 25	—	
		П33	2,2 82					
		М47	2,2 110					
		М75	2,2 150					
		М750	2,2 360					
		М1500	15 750					
	160	Н70	680 6800	$^{+50}_{-20}$, $^{+80}_{-20}$				
КЛС	200, 125, 80	М47	8,2 300	±5, ±10, ±20	4 10	8	4 6	
		М75						
		М750	18 3000					
		М1500						
	160, 100	Н30		$^{+50}_{-20}$, $^{+80}_{-20}$				
	50		680 10 000					
	125, 80	Н50		(ряд E6)				
	35	Н70	4 700 33 000					
		Н90	4 700 100 000					
КМ-3	250	Н30	680 220 000	$^{+30}_{-20}$	5 13	4,5 12,5	3	Вар „а"
КМ 4	250, 160 (вар «в»)	П33	16 510	±5, ±10, ±20 (ряд E24)	4,2 15	4,5 15	3 3,3	Вар „б" Изолированные Неизолированные
		МП0	56 1 200					
		М47	27 510					
		М75	41 1 000					
		М750	68 1 800					
		М1500	150 3 600					
	160, 100 (вар «в»)	Н30	1 500 470 000	$^{+50}_{-20}$, $^{+80}_{-20}$ (ряд E6)				Вар. „в"

Продолжение табл. 3.20

Тип	Номинальное напряжение, В	Группа ТКЕ	Диапазон номинальных емкостей, пФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
					диаметр (ширина)	длина	высота	
КМ-5	160; 100 (вар. «в»)	П33 МП0 М47 М75	16...680 68...1600 27...680 47...1300	±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	4,2...15	4,2...15	3...3,3	
КМ-5		М750 М1500	68...2700 150...5600					
	160; 70 50	Н30 Н90	1 500...68 000 15 000...150 000	$^{+50}_{-20}$; $^{+80}_{-20}$ (ряд Е6)				
КМ-6	50	П33 М47 М75 М750 М1500	120...5100 120...6200 180...5600 470...10 000 820...15 000	±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	6,5...14	6,5...14	4,5...10	
	25 50 35; 25	Н30 Н50 Н90	10 000...150 000 10 000...150 000 22 000...2 200 000	$^{+50}_{-20}$; $^{+80}_{-20}$ (ряд Е6)				
К10У-5	3 10 25	Н50	100 000...2 200 000 10 000...470 000 6800...220 000	$^{+50}_{-20}$; $^{+80}_{-20}$ (ряд Е6)	7...19	2,3...7,5	—	
	10 25 50	Н90	10 000...330 000 6800...330 000 6800...150 000					
	25	Н20	3300...100 000	±20				
К10-7В	50	П33 МП0 М47 М750 М1500	15...180 18...220 22...270 47...680 68...1000	±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	4...14	4...14	3,5...4,5	
		Н30	680...10 000	±20				

Продолжение табл. 3.20

Тип	Номинальное напряжение, В	Группа ТКЕ	Диапазон номинальных емкостей, пФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
					диаметр (ширина)	длина	высота	
		Н70 Н90	1500...22 000 3300...68 000	$^{+50}_{-20}$; $^{+80}_{-20}$ (ряд Е6)				
К10-17	25; 50	П33 М47 М75 М750 М1500	2,2...10 000 2,2...12 000 10...15 000 33...27 000 75...39 000	±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	1,5...12	1,3...8,6	1,8...5,5	Вар. „а" Вар. „б" Вар. „в" Вар. „г" Вар. „д"
		Н50	680...470 000	$^{+50}_{-20}$; $^{+80}_{-20}$ (ряд Е6)				
	25; 40	Н90	2 200...2 200 000					
К10-23	16	П33 М47 М75 М750 М1500	2,2...360 2,2...330 10...820 33...1500 75...3000	±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	9	6,5	4,5	
		Н30	68...33 000	$^{+50}_{-20}$; $^{+80}_{-20}$ (ряд Е6)				
К10-38	500	М47	1...10	±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	4,2	10,8	—	
		М750	0,56; 0,68; 0,82			12		
			1...27					
		М1500	1...30			10,8		
	300	Н70	470...1000	$^{+80}_{-20}$; (ряд Е6)				
К10-42	50	М47	1...22	+5; ±10; ±20 (ряд Е24)	1,5	1...1,4	1...1,2	

Продолжение табл 3.20

Тип	Номинальное напряжение, В	Группа ТКЕ	Диапазон номинальных емкостей, пФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм: диаметр (ширина)	длина	высота	Внешний вид
К10-43	50	МП0	21,5...44 200	±1; ±2; ±5 (ряд Е192)	4...16,5	2,9...12	2,4...6,5	Вар. „а" Вар. „в"
К10-47	500; 250 160	МП0	10...100 000	±5; ±10; ±20 (ряд Е12)	4...16	2,9...13,5	1,6...7,1	Вар. „а" Вар. „в"
	500; 250; 100; 50; 25	Н30	1000...2 200 000	±20; $^{+50}_{-20}$ (ряд Е6)				
		Н90	1 000 000...6 800 000	$^{+80}_{-20}$				
К10-48	250; 160	М47 М75	18...360	±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	4,5...8	6	6...8	
		М750 М1500	51...1000 150...2000					Вар. „а" Вар. „б"
	250, 160; 100	Н30	1000...33 000	±20; $^{+30}_{-20}$; $^{+80}_{-20}$ (ряд Е6)				
К10-50	25	МП0	1100...30 000	±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	6,8. 8,4	4,6...6,7	2,5...5	
	10	Н90	22 000...3 300 000	$^{+80}_{-20}$ (ряд Е6)				
	25	МП0	22...30 000	±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	1,5...5,5	1,3...4,4	1,2. .1,8	
	10	Н90	22 000...3 300 000	$^{+70}_{-20}$ (ряд Е6)				

Продолжение табл. 3.20

Тип	Номинальное напряжение, В	Группа ТКЕ	Диапазон номинальных емкостей, пФ	Допуск % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
					диаметр (ширина)	длина	высота	
				Стеклянные и стеклокерамические				
К21-5	60	МП0 М47 М750	2,2...160	±5; ±10 (ряд Е24)	8,5	3...4	6	Вар „а" Вар „в"
		М330	180...330					
К21-7	50	П120	56...20 000	±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	4,5. .14,5	9,5...14,5	3...4,5	
К21-9	500; 250; 160; 63;25	П100	2,2...3900	±0,5 пФ (до 9,1 пФ) ±5, ±10; ±20 (ряд Е24)	5,5...14,5	4,5...13,5	6...6,5	Вар „а" Вар „б" Изолированные Неизолированные Вар „в"
		П33	2,2...4700					
		МП0	2,2...5100					
		М47	2,2...5600					
		М75	15...6200					
		М750	16...7500					
		М220	20 ..10 000					
К22У-1	250; 160; 100; 70; 35	МП0 М47	22...2200	±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	6,5...11	5,5...9	3...5	
		М330	56...3900					
К22-5	25	М47	100...39 000	±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	6,3.. 14	5,3...14	3,6.. 42	
		М75	75...27 000					
		Н10	470...120 000	±10; ±20 (ряд Е6)				

Продолжение табл. 3.20

Тип	Номинальное напряжение, В	Группа ТКЕ	Диапазон номинальных емкостей, пФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
					диаметр (ширина)	длина	высота	
Высоковольтные керамические								
К15У-1 К15-13	2000; 3500; 4000; 6000; 10 000; 15 000	П100	1...470	±5; ±10; ±20 (ряд Е12)	18...180	7...19	—	
		МП0	18...470		18...90	10		
		М75	4,7...27		18...25	8...12,5		
		М330	56...1000		18...90	8...10		
		М750	18...68		18...25	8...22,5		
		М1500	33...10 000		18...180	7,5...30		
КВИ-1 КВИ-2	8000; 10 000; 16 000; 20 000	М1500	1,5...22	±10; ±20 (ряд Е6)	5...16	16...25	—	
		Н50	15...100		8...14	16...42		
К15-12 К15-13	2000; 4000	МП0	0,47...15	±10; ±20 (ряд Е6)	3,4...16	7...14		
		М330	8,2...47		10...16	12,5...14		
К15-4	12 000; 20 000; 30 000; 40 000	Н70	220...4700	$^{+80}_{-20}$ (ряд Е3)	22...56	21...46	—	
К15-5	1600; 3000; 6300	Н20	68...6800	±20	8...34	4...5	—	
		Н50	68...220	±10; ±20	10...14,5	7	—	
		Н70	330...15 000	$^{+80}_{-20}$	8...38	4...7		

Окончание табл. 3.20

Тип	Номинальное напряжение, В	Группа ТКЕ	Диапазон номинальных емкостей, пФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
					диаметр (ширина)	длина	высота	
Слюдяные								
КСО-1	250	(±50)	51...750	±2; ±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	13	7	4,6	
КСО-2	250; 500	(±100)	100...2400		18	11	5,5	
КСО-5	500	(±200)	470...10 000		20	20	6,5...9	
КСОТ-1	250	(±50)	51...510	±2; ±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	13	7	4,6	
КСОТ-2	500	(±100)	100...1200		18	11	5,5	
КСОТ-5		(±200)	470...6800		20	20	6,5...9	
К31П-5	100	(±50) (±100)	100...100 000	±1; ±2; ±5 (заданная емкость)	18...20	11...20	6,5...9	
К31У-3Е	250	(±50) (±100)	51...510	±2; ±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	14	9	6,1	
	500	(±200)	100...6800		18...20	11...20	6,5...9	
СГМ	250		51...10 000	±2; ±5, ±10; ±20 (ряд Е24)	13...18	6...9	9,5...22	
	500				18	7,5...9	13,5...22	
	1000	(±50) (±200)	51...6200 100...6800					
	1600		100...3900					
К31П-4	350	(±50) (±200)	50...200 000	±0,3; ±0,5; ±1; ±2 (ряд Е192)	18	7...8	15...22	
К31-10	100	±(33± ±30)	277...10 000	±0,25; ±0,5; ±1; ±3; ±5; ±10 (ряд Е192)	17,5	4,5	15	
К31-11	250	(±50) (±100)	51...470	±2; ±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	12	5	7	
	500	(±200)	100...10 000		17...19	6...9	11...19	

Таблица 3.21. **Конденсаторы с органическим диэлектриком**

Тип	Номинальное напряжение, В	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
				диаметр (ширина)	длина	высота	
			Полиэтилентерефталатные низковольтные				
К73-5	250	0,001...0,22	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	7...16,5	3...8	9...15	
К73-9	100	0,001...0,47	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	12...24	4...13	6...18	
	200	0,0027...0,33			4...15	6...20	
	400	0,001...0,15		13...24	4...13	6...18	
	630	0,00047...0,1			4. .15	6...20	
К73-11	63	0,1...22	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	6...21	13...44		
	160	0,068...6,8		7...22	13...22		
	250	0,047...2,2		7...17		32	
	400	0,022...1		7...15	13...30		
	630	0,001...0,47		7...16			
К73-15	100	0,015...0,47	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	6.. 14	16...32		
	160	0,0047...0,33		5...14			
	250	0,0033...0,22			16...40		
	400	0,0022. .0,22		5 ..16			
	630	0,00047...0,15					
К73-16	63	0,1.. 22	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	6. .22			
	100	0,1...12		7...22			
	160	0,047...6,8		7...20	18...48	—	
	250	0,047...10		8...30			

Продолжение табл. 3.21

Тип	Номинальное напряжение, В	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
				диаметр (ширина)	длина	высота	
	400	0,022...1		8...13			
	630	0,01 ..0,47					
	1000	0,01 ..0,22		7...16	34...48		
	1600	0,0047...0,1					
К73-17	63	0,22...4,7	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	12...24	6...12	10...25	
	160	1,5...2,2		24	12; 16	25; 28	
	250	0,047...1		12...23	6,3...10,5	11...21	
	400	0,022...1		12...24	6...1.	10,5...27	
	630	0,01...0,37					
К73-20	630	0,0051	±5; ±10; ±20	7	21	—	
К73-22	630	0,01...0,047	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	6...9	18...20	—	
К73-24	100	0,033...0,27	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	11; 13	5; 7,1	9,5	
	250	0,001 ..0,027		11	5		
	100	0,01...0,27		8,5; 11	2,5...4,6	4,5...6	
	250	0,001. .0,0068		8,5	2,5	5	
К73-26	63	33...150	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	24 ..40	60; 85	7,5...10	
	100	15...100			48; 85		
			Полиэтилентерефталатные высоковольтные				
К73-12	10 000	0,0047...0,022	±10	15; 20	25; 45	—	
	30 000	0,003	±10	25	85	—	

Продолжение табл. 3.21

Тип	Номинальное напряжение, В	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
				диаметр (ширина)	длина	высота	
К73-13	10 000	0,002	±10	15	25	—	
К73-14	4 000	0,0033...0,1	±5; ±10	9...26	25; 45	—	
	10 000	0,0022...0,022	±10; ±20 (ряд Е6)	17...26	25; 65	—	
	16 000	0,00047...0,01		14...27			
	25 000	0,00047...0,0033		14...25	45; 65	—	
К74-7	16 000	0,00015...0,00039	±20 (ряд Е6)	10; 13	25	—	

Полистирольные

ПМ-1	63	0,0001...0,01	±10; ±20 (ряд Е12)	3,4...10	9...18	—	
ПМ-2	63	0,0001...0,01	±5; ±10; ±20 (ряд Е24)	4,3...11,8	14...24	—	
К70-6	35	0,018...0,1	±1; ±2; ±5; ±10 (ряд Е12)	8...13	23; 33	—	
	65	0,0000...0,15		4...8	10...18		
К70-7	100	0,001...0,5	±0,25; ±0,5; ±1; ±2 (заданная емкость)	25; 50	12,5; 25	20; 33	
	250	0,001...0,134					
	100	0,001...0,5		25; 50	12,5; 25	22; 35	
	250	0,001...0,134					
	350	0,00015...0,175		40	10; 20	36; 61	
К71-4	160	1,2...10	±2; ±5; ±10; ±20 (ряд Е12)	24...45	63...85	—	
	250	0,01...1		6...22	21...48		

Продолжение табл. 3.21

Тип	Номинальное напряжение, В	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
				диаметр (ширина)	длина	высота	
К71-6	250	0,00033...0,01	±0,5; ±1; ±2; ±5; ±10 (ряд Е24 вар. «в») (Е192 вар. «б»)	5...12	14	—	
	300	0,0000051...0,0003		4...7	10	—	
	200	0,0121...0,2		16...42	11...21	21...42	
	250	0,000612...0,012		16	6...10	12...19	
	300	0,0001...0,000604		10	6...8	12...16	
К71-7	250	0,001...0,5	±0,5; ±1; ±2; ±5 (заданная емкость)	10...26	6...16	12...32	
			Полипропиленовые				
К78-2	250	0,068...2,2	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	9...20	21...42	19...32	
	300	0,01...0,1		7...12,5	20,5...31,5	11,5...22	
	1000	0,001...0,15		5,6...17	20...40	9...30	
	1600	0,001...0,056		6...15		10...26	
	2000	0,001...0,015		8...16	27...32	14...24	
К78-3	630	0,27...0,56	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	30...45	105	—	
К78-4	160 250 500	3,3...68 2,2...33 0,47...10	±10; ±20 (ряд Е6)	26...55	45...100	—	
К78-5	2000	0,00047...0,047	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	9...22	24...50	—	
К78-6	250	0,01...10	±2; ±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	7...38	21...63	—	
	400	0,12...2,2		7...32			
	630	0,001...0,1		7...14	21...52		

Продолжение табл. 3.21

Тип	Номинальное напряжение, В	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
				диаметр (ширина)	длина	высота	
			Лакопленочные				
К76П-1 К76-3	63 250	0,47...2,2 0,1...10	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	7...22 6...30	32; 48 32; 48	—	
К76-4 К76-5	25 25	0,47...10 0,47...10		6...12 5...10	9...45 22; 28	— —	
			Фторопластовые				
ФЧ	60 124	0,1; 0,25 0,1	±5; ±10; ±20	14; 20 18	40 53	—	
ФТ-1	200 600	0,00056...0,022 0,00056...0,01	±5; ±10; ±20 (ряд Е12)	6...14	14; 25	—	
ФТ-2 ФТ-3	200 600	0,027...0,47 0,018...0,22		19...37 19...30	30...78	—	
К72П-6	200 500 1000 1600	0,00047...1 0,00047...0,47 0,00047...0,47 0,00047...0,056	±5; ±10; ±20 (ряд Е12)	7...60 8...60 12...60 14...36	20...100 20...80 3...110 34...80	—	
К72-9	200 300 500	1,5; 2,2 0,47...1 0,01...0,33	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	9...26 32...34 36; 42	32...60 60; 80 100	—	
			Комбинированные				
К75-10	250 500 750 1000	0,1...10 0,1...3,3 0,1...1,5 0,1...1	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	9...48 16...48 22...50 22...55	38...95 62...115 62...115 90...115	—	
К75-12	400	0,0033...0,47	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	6...20	18...52		
	630	0,001...0,33			18...62		
	1000 1600	0,0022...0,22 0,01...0,1		10...20 14...20	22...52 30...52		

Продолжение табл. 3.21

Тип	Номинальное напряжение, В	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
				диаметр (ширина)	длина	высота	
	400	1...10			25...80		
	630	1...8		45; 65	35...80	49; 112	
	1000	0,5...6			25...90		
	1600	0,25...4			25...80	54; 112	
К75-15	3 000	0,1...10		45...85	20...180	54...150	
	5 000	0,05...4			20...160		
	10 000	0,051...1					
	16 000	0,024...1	±5; ±10; ±20	65; 80	45...140	75...140	
	25 000	0,024...0,5	(ряд Е3)	65; 150	60...130	74...130	
	40 000	0,01...0,1		100...150	65...130	115...350	
	50 000	0,0051...0,024		140; 150	85; 130	115...220	
				140	85	115...240	
К75-24	400	0,1...4,7		8...34	36...55		
	630	0,1...4,7	±5; ±10; ±20	9...32	36...95	—	
	1000	0,1...2,2	(ряд Е6)				
	1600	0,1...1,5		14...32	38...95		
					52...95		

Поликарбонатные

Тип	Номинальное напряжение, В	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	диаметр (ширина)	длина	высота	Внешний вид
К77-1	63	0,22...22	±5; ±10; ±20	8...28			
	100	0,1...3,9	(до 0,82 мкФ)	8...20	21...48		
	200	0,022...3,9	±2; ±5; ±10; ±20			—	
			(от 1 до 4,7 мкФ)	8...28	21...63		
	400	0,001...1	±0,5; ±1; ±2; ±5, ±10; ±20 (более 5,6 мкФ) (ряд Е12)	7...28	17...63		
К77-2	63	0,056...0,33	±5; ±10; ±20	6	15...20	—	
	100	0,01...0,047	(до 0,39 мкФ)	6...9	20	—	
			±2; ±5; ±10; ±20				
	63	0,056...2,2	(более 0,39 мкФ)	6...14	17...31	—	
	100	0,01...0,047	(ряд Е12)	6	17; 21		

Продолжение табл. 3.21

Тип	Номинальное напряжение, В	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
				диаметр (ширина)	длина	высота	
Бумажные							
БМ-2	160 200 300	0,033; 0,047 0,0033 ... 0,022 0,00047...0,0022	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	7,5 5; 6; 7,5 5	24 20; 24 20	—	
К4ОП-2	400	0,001...0,01	±5; ±10; ±20 (ряд Е6)	6	25	—	
		0,015...0,047		11			
К4ОУ-9	200	0,00047...1	±10; ±20	5...20	18...52	—	
	400 630	0,0047...0,68 0,00047...0,47		6...20	18...62		
	1000	0,001...0,22	(ряд Е6)	10...20	22...52		
Металлобумажные							
МБМ	160	0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1		6...14	22; 36		
	250			8,5...18	38; 51		
	500	0,025; 0,05; 0,1; 0,25; 0,5	±10; ±20		25...51	—	
	750	0,01; 0,025; 0,05; 0,1; 0,25		8,5...16			
	1000	0,01; 0,025; 0,05; 0,1			38		
	1500	0,0051; 0,01; 0,025; 0,05; 0,1		8,5...18	38; 51		

Окончание табл. 3.21

Тип	Номинальное напряжение, В	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
				диаметр (ширина)	длина	высота	
МБГО	160	2; 4; 10; 20; 30			16...41		
	300	1; 2; 4; 10; 20; 30			11; 46		
	400	1; 2; 4; 10; 20	±10; ±20	31; 46	16; 61	25; 50	
	500	0,5; 1; 2; 4; 10; 20			11; 76		
	630	0,25; 0,5; 1; 2; 4; 10			11; 56		
МБГИ (односекционные)	200	0,5; 1; 2; 2; 10; 20		31; 46	11...51	25; 50	
	400	0,25; 0,5; 1; 2; 4; 10	±10; ±20		11...66		
	630	0,1; 0,25; 0,5; 1; 2,4; 10		31...69	11...47	25; 50; 112	
	1000	0,5; 1; 2; 4; 10		46; 69	16...64	50; 112	
	1600	0,25; 0,5; 1; 2; 4; 20			10...107	50; 112; 100	
МБГЧ-1	250	0,5; 1; 2; 4; 10		31; 46	11...56	25; 50	
	500	0,25; 0,5; 1; 2; 4		31; 46; 69	16...34	25; 50; 115	
	750	0,25; 0,5; 1; 2		46; 69	21; 41; 34	50; 115	
	1000	0,25; 0,5; 1	±10; ±20				
МБГЧ-2	250	0,5; 10		30; 45	17; 60	30; 54	
	380	1		45	17	54	
	500	0,25		30	30	30	
К42У-2	160	0,047...1	±10; ±20 (ряд Е6)	6...14	24; 36	—	
	250	0,047...1		8...16	24; 36; 50		
	500	0,033...0,1		8; 9; 10	24; 36		

Таблица 3.22. **Конденсаторы с оксидным диэлектриком**

Тип	Номинальное напряжение, В	Допустимая амплитуда напряжения переменной составляющей на частоте 50 Гц, %	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм		Внешний вид
					диаметр	длина	
			Алюминиевые оксидно-электролитические				
К50-6	6,3	20...25	5...500		7,5...18	13...18	
	10	5...25	10...4000		6...30	13...45	
	16	5...25	1...4000		4...30	13...60	
	25	5...25	1...4000	—20...+80 (ряд Е3)	4...34	13...78	
	50	5...20	1...4000		6...34		
	100	10...15	1...20		6...14	13,18	
	160	10	1...20		6...18	18	
К50-6 (неполярный)	16	5...25	5...50	—20...+80	6...16	18	
	25		10		10,5		
К50-7	160	5...15	20...500			28...80	
	250		10...200				
	300	3...10	5...200	—20...+80 (ряд Е6)	16...30	20...80	
	360		5.. 100			28...60	
	450		5...100		19...30	28...80	
К50-7 (блоки)	50		100+300; 300+300		26	45, 60	
	250		100+100; 150+150		30,34	80,90	
	300	3.. 10	50+50; 100+100	—20...+80	26,30	60,80	
	350		20+20; 50+50; 30+150			45; 80; 90	
	450		10+10; 20+20; 50+50		26; 30; 34	45,60; 90	
К50-12	6,3		10...5000		4,5...25	19...55	
	12		5...2000			19...40	
	25	3...20	2...5000	—20...+80 (ряд Е3)	4,5...32	14...85	
	50		1...200		4,5...17	14...42	
	100		1...50			14...30	
	160		1...200		6...25	20...55	
	6,3	20...25	20.. 500		4...12	13...16	
	10	5...25	10...2000			13...26	

Продолжение табл. 3.22

Тип	Номинальное напряжение, В	Допустимая амплитуда напряжения переменной составляющей на частоте 50 Гц, %	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм		Внешний вид
					диаметр	длина	
К50-16	16	5...25	5...2000	—20...+80 (ряд Е6)	4...18	13...45	
	25	5...25	2...2000				
	50	5...20	2...500		4...21		
	100	5...15	0,5...50		4...16	13...26	
	160	5...15	1...20		6...18	15; 18	
К50-18	3	16...18	470 000	—20...+50	80		
	6,3	13...15	100 000; 220 000		55; 80	142	
	10	11...15	100 000		60	142	
	16	6...9	22 000; 68 000; 100 000		40...65	92...142	
	25	6...8	15 000; 33 000; 100 000		45...80		
	50	5...6	4700; 10 000; 15 000; 22 000		40...65		
	80	4...5	4700; 10 000; 15 000		45...60		
	100	4...6	2200; 4700; 10 000		40...65		
	250	2,5...3	1000; 4700		40...65		
К50-19	80	100 % (в повторно-кратковременном режиме)	160; 250; 350; 500; 750	±20	30...40	58...113	
	150		50; 80; 110; 160; 200; 250		26...34	53...118	
	320		10; 16; 25; 40; 60; 100			43...118	
К50-20	6,3	10...16	10...5000	—20...+50 (ряд Е3)	6...32	21,5...52	
	16	10...16	2...2000		6...25	21,5...56	
	25	10...16	2...2000		6...32	21,5...52	
	50	3...16	1...2000		8,5...25	21,5...86	
	100	10	1...200			22...56	
	160	10	2...200		8,5...32		
	250	10	20...50		8,5...25	42; 46	
	300	10	6...50		12...25	30...56	
	350	10	2...20			30...42	
	450	10	2...20			30...56	

Продолжение табл. 3.22

Тип	Номинальное напряжение, В	Допустимая амплитуда напряжения переменной составляющей на частоте 50 Гц, %	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм		Внешний вид
					диаметр	длина	
К50-24	6,3	20...90	220...10 000			28...50	
	16	10...60	47...10 000		6...21	17; 58	
	25	10...60	22...4700	—20...+50 (ряд Е3)			
	40	10...25	100...2200		9...16	24...58	
	63	6...50	10...2200		6...21		
	100	9...30	4,7...220		6...12	17...50	
	160	9...40	2,2...220		6...21		
К50-26	63	16	1000+1000+ +1000+1000		34	70	
	350	5	150+150+47+47 220+100+47+22	—10...+50	34	95	
	450	5	47+47+33+33		34	70	
К50-27	160	5...8	470; 1000		30; 34	62; 92	
	250	5...15	10...470	—10...+30 (ряд Е3)	9...30	34...77	
	300	5...13	10...470		9...34	34...92	
	350	4...15	4,7...220		9...30	40...77	
	450	4...15	2,2...220		9...34	34...92	
К50-28	50	16	300+300		25	40	
	250	5	150+150	—20...+50	32	52	
	300	6...10	40+40		25	40	
	350	6...10	150+30		32	57	
	250	5...6	47...220		25	40...55	
	300	6...10	4,7...220	—20...+50 (ряд Е3)	25; 32	40...47	
	450	6...10	10...47		17; 25	28; 43	
К50-29	6,3	16...40	47...4700		5...17	17...42	
	16	12...40	22...2200			17...48	
	25	12...40	10...2200				
	63	6...30	4,7...1000	—20...+50 (ряд Е3)	6...17	17...53	
	100	12...30	2,2...100			17...37	
	160	12...30	1...47			17...42	

Продолжение табл. 3.22

Тип	Номинальное напряжение, В	Допустимая амплитуда напряжения переменной составляющей на частоте 50 Гц, %	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм		Внешний вид
					диаметр	длина	
	300	12...16	4,7...47			22...48	
	350	16	2,2...22		12; 17	22; 38	
	450	10...14	2,2...22			22...48	
К50-32	160		1000...4700		32...65	82...106	
	250	2,5	100...2200	—20...+50 (ряд Е6)	25...65	10...92	
	350		47...1000		25...50	40...106	
	450		47...470			45...92	
К50-32А	16	0,6...1	15 000...47 000		32...50	67...92	
	40	1,1...2	4700...22 000	—20...+50	32; 50	47...99	
	63	1,4	1500		50	82	
К50-35	6,3	10...25	47...4700			12...30	
	16	5...25	33...4700			12...45	
	25	10...25	22...2200	—20...+50 (ряд Е3)		12...40	
	40	5...20	22...1000		6...18	14...30	
	63	4...15	10...1000			12...40	
	100	5...15	2,2...220			12...30	
	160	3...10	1...100			12...35	
К50-38	6,3	8...25	47...10 000		6...18	13,5...30	
	16	5...25	47...10 000		6...21	13,5...57	
	25	10...25	22...2200		6...18	13,5...40	
	40	4...20	22...2200	—20...+50 (ряд Е3)	6...21	15,5...42	
	63	4...15	10...2200		6...21	13,5...57	
	100	5...15	4,7...220		6...18	13,5...30	
	160	6...10	1...100			13,5...35	
К50-40	6,3	25	22...220		4...7,5	7...12	
	16	25	10...47	—20...+50 (ряд Е3)	4...6		
	25	25	4,7...53				
	40	20	2,2...10		4; 5	7	
	63	15	0,1...4,7				

Окончание табл. 3.22

Тип	Номинальное напряжение, В	Допустимая амплитуда напряжения переменной составляющей на частоте 50 Гц, %	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм		Внешний вид
					диаметр	длина	
	6,3	43,5	2,2	—20...+50	6	11	Неполярные
	16	18	10; 22				
	50	1	47				

Таблица 3.23. **Конденсаторы оксидно-полупроводниковые**

Тип	Номинальное напряжение, В	Допустимая амплитуда напряжения переменной составляющей на частоте 50 Гц, %	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
					диаметр	длина	высота	
К53-1 К53-1А	6, 6,3	20 ..40	0,1...100	±10; ±20; ±30 (ряд Е6)	2,4.. 7	7,5...16		
	10		0,1...0,68		3,2	7,5		
	16		0,068...68		2,4...7	7,5...16		
	20		0,047...47					
	30		0,033...33					
К53-4	6	20	0,68...100	±10; ±20; ±30 (ряд Е6)	3,2...7,2	7,5...16	—	
	15		0,47...68					
	20		1,0...47					
К53-4А	6,3	20	0,68...330	±10; ±20; ±30	3,2...10	7,5...25		
	16		0,47...220					
	20		1...47					
	30		0,47...33		3,2...7,2	7,5...16		
	40		0,1...10					
	50		0,1...6,8					
К53-7 (неполярные)	15	20*	1...47	±10; ±20; ±30 (ряд Е6)	3,2...7,8	18...30	—	
	30		0,1...22		4...7,8			
К53-14 К53-14А	6,3	25...40	0,1...100	±10; ±20; ±30 (ряд Е6)	3,2...9	7,5...16,5	—	
	10	25...40	0,1...47					
	16	20...25	0,068...33		3,2...7,2	7,5...16		
	20	20...25	0,047...22					
	30	15...20	0,033...22					

Тип	Номинальное напряжение, В	Допустимая амплитуда напряжения переменной составляющей на частоте 50 Гц, %	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
					диаметр	длина		
К53-16 К53-16А	1,6		1,5...15	±20; ±30 (ряд Е6)	1,9...3,6	1,2...2,1	3,4...6,1	
	3		1...10					
	4		2,2...220		2,2...9,5	1,6...5,6	3,4...13,5	
	6,3		0,68...330					
	10	20	0,47...220					
	16		0,33...150		1,9...13	1,2...5,6	3,4...16,5	
	20		0,22...100					
	30		0,01...68					
	40		1,5...6,8		7,5...8,5	3,6...5	9...10	
	50		1...4,7					
К53-18	6,3		1...1000	±10; ±20; ±30 (ряд Е6)				
	16		0,68...330					
	20	10...40	0,47...220		2,4...9	7,5...21	—	
	30		0,33...100					
	40		0,033...22		2,4...7	7,5...12		
К53-19	3		0,68...15	±10; ±20; ±30 (ряд Е6)	5,8; 6,7	5,8; 6,7	7...8	
	6,3	20	0,47...330				11...14	
	16		0,33...220		5,8...20	8; 9,5	7...18	
	20		0,33...150					
К53-26	3,2		1,5...100					
	6,3		1...47					
	10	20	0,68...33	±20; ±30; (ряд Е6)	2,7...6,5	1...3,1	2...4,4	
	16		0,47...22					
	25		0,33...15					
	32		0,22...10					
К53-30	1,6		1,5...15					
	3,2	20	1...10					
	4,0		1...10	±10; (ряд Е6)	4; 4,5	5...7,5	—	
	6,3		0,68...6,8					

Окончание табл. 3.23

Тип	Номинальное напряжение, В	Допустимая амплитуда напряжения переменной составляющей на частоте 50 Гц, %	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
					диаметр	длина	высота	
К53-30	10	20	0,47...4,7	±20; ±10 (ряд Е6)	4; 4,5	5...7,5	—	
	16		0,33...3,3					
	20		0,22...2,2					
	32		0,1...1,5					
К53-31 (высокочастотные)	6,3	7...50	10...150	±20; ±30 (ряд Е6)	10; 15	7,1; 12	3; 4,5	
	10		6,8...100					
	16		4,7...68					
	25		3,3...33					
	30		2,2...15				3	
	40		0,68...2,2		10	7,1		

Примечание Допустимый диапазон частот переменного тока для неполярных конденсаторов К53-7 до 1000 Гц

Таблица 3. 24. **Конденсаторы объемно-пористые танталовые**

Тип	Номинальное напряжение, В	Допустимая амплитуда напряжения переменной составляющей на частоте 50 Гц, %	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм		Внешний вид
					диаметр	длина	
К52-1	3	20	22; 47; 100		3...4,6	11...17,5	
	6,3	20	15; 33; 68; 150; 220; 330; 470				
	16	12	10; 22; 47; 100; 220	±10; ±20			
	25	12	6,8; 15; 33; 68; 150	±30			
	35	8	4,7; 10; 22; 47; 100	(—20... +50)	3...7,5	11...24	
	50	8	3,8; 6,8; 15; 33; 68				
	70	8	2,2; 4,7; 10; 22; 47				
	100	8	1,5; 3,3; 6,8; 15; 33				
К52-1Б	6,3	20	33; 68; 150; 330; 680				
	16	12	27; 47; 100; 220; 470	±10; ±20;			
	25	12	15; 33; 68; 150; 330	±30			
	30 (32)	8	10; 22; 47; 100; 220	(—20... (+50)	3...7,5	11...24	
	50	8	6,8; 15; 33; 68; 150				
	63	8	4,7; 10; 22; 47; 100				
	100	8	3,3; 6,8; 15; 33; 68				
К52-5	15	30...50	33; 330				
	25	30...50	22; 220	±10; ±20;	13,5; 24	8; 9,5	
	50	20...40	15; 150	±30;			

Окончание табл.3.24

Тип	Номинальное напряжение, В	Допустимая амплитуда напряжения переменной составляющей на частоте 50 Гц, %	Диапазон номинальных емкостей, мкФ	Допуск, % (ряд промежуточных емкостей)	Габаритные размеры, мм		Внешний вид
					диаметр	длина	
	70 90	20...40 20...40	10; 100 6,8; 68	(—20... +50)			
К52-8 (неполярные)	6,3 16 25 50 63 100	70 55 50 40 25 30	33; 330 15; 150 10; 100 6,8; 68 4,7; 47 3,3; 33	±10; ±20; ±30	13; 26	6,3; 9	
К52-9	6,3	20	68; 150; 220; 330; 470	±10; ±20; ±30	4,8...7,5	18...22	
	16 25 32 50 63 100	10 10 8 8 8 8	47; 100; 220 33; 68; 150 22; 47; 100 15; 33; 68 10; 22; 47 6,8; 15; 33				
	125	6	1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 10; 22				
К52-11	6,3 16 25 32 50 63 100	20 12 12 8 8 8 8	150; 330; 680 100; 220; 470 68; 150; 330 47; 100; 220 33; 68; 150 22; 47; 100 15; 33; 68	±10; ±20; ±30	4,8...7,5	18...22	

Таблица 3.25. **Подстроечные конденсаторы**

Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, пФ		Группа ТКЕ	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
		минимальная, не более	максимальная, не менее		диаметр (длина)	высота	ширина	
КПК-МН, КПК-МП	350	2; 4; 5; 6; 8	7; 15; 20; 25; 30	$-600\cdot10^{-6}$ 1/°C	15; 17	9	11	
КТ4-21, КТ4-25	100	1; 2; 3; 4; 5; 6	5; 10; 15; 20; 25; 30		5	3,5	5	
	250	0,4; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8	2; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40	П100, МПО, М75 М470, М750	14	4,5	8,5	
КТ4-25 дифференциальные двухсекционные	250	1	5	М75	14	4,5	8,5	

Окончание табл. 3.25

Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, пФ		Группа ТКЕ	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
		минимальная, не более	максимальная, не менее		диаметр (длина)	высота	ширина	
КТ4-23	200	0,4; 2,2; 2,5; 4; 5; 6; 8	4; 7; 8; 15; 20; 25; 30	$-100 \cdot 10^{-6}$ 1/°C $-600 \cdot 10^{-6}$ 1/°C	8,2	7,5	—	
КТ4-24	50	5	25	М750	3,5	1,5	—	
КТ4-27	16	1; 1,5; 2	10; 15; 20	$1000 \cdot 10^{-6}$ 1/°C	2,8	1,2	2,6	
	25	0,4; 1	2; 5	М75	2,8	1,2;	2,6;	
	50	1; 2; 3; 4	5; 10; 15; 20		5	1,7	4,7	
КТ4-28	25	1; 3; 4; 5	10; 15; 20; 25; 40	М75; М750	2,8; 5	1,2; 1,8	2,6; 4,7	
КТ4-29	25	5	25	М750	3,5	1,6	3,4	
КТ2-17		1,5	5			12		
КТ2-18		1,5	10		11,5		10,5	
КТ2-19	160	1,9	15	300		14		
КТ2-20		2	30		16	15,4	14,5	
КТ2-21		3	50					
КТ2-23		6	50		18,5	29	22	
КПВ	300	4; 5; 6; 7; 8	50; 75; 100; 125; 140	50	31,6	43,5 61,5	26	
1КПВМ	300	1,8; 2,2; 2,8	6,5; 9; 15; 24			10,6 17		
	650	2; 2,8; 3,5	6,5; 12; 17	Не более +100	18,5	23,5 33	12	
	350	1,8; 2,2; 2,8	6,5; 9; 15; 24			20; 22,5		
2КПВМ	350	1; 1,5	1,8; 3,3; 5,8	Не более +100	25	11,3; 13; 17	13	
	650	1; 1,5	1,3; 2; 3,5			11,5; 15,5; 20,8		
3КПВМ	350	2,5; 3	6,5; 9; 15; 24	Не более +100	25	10,6 17	13	
	650	2,5; 3; 4	6,5; 12; 17			10; 14; 23,8		

Таблица 3.26. **Помехоподавляющие конденсаторы**

Тип	Номинальное напряжение, В	Проходной ток, А	Диапазон номинальных емкостей, пФ	Допускаемое отклонение емкости, %	Группа ТКЕ	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
						диаметр (высота)	длина	ширина	
Керамические									
КТП	400	5	1500...15 000	$^{+50}_{-20}$; $^{+80}_{-20}$	Н70		12...28		
	500		5,6...470	±10; ±20	П100; М47; М75; М750; М1500	6,9... 11,6	12...20		
	750		8,2...330				20...28		
	1000		330	±20	М1300	11,6	25		
	2000		68; 100		М1300				
КТПМ-1	160	5	68	±20	М1300	2,6	6,5		
КО	400	—	1000...4700	$^{+50}_{-20}$; $^{+80}_{-20}$	Н70	6,9...8,1	12; 15		
	500		6,8...330	±20	П100; М47; М75; М750; М1500				
КДО	400	—	1500; 2200	$^{+50}_{-20}$; $^{+80}_{-20}$	Н70	13	10,4; 12,7		
	500		3,3...100	±20	П100; М47; М75; М750; М1500				
К10П-4	350	10	3,9...150	±5; ±10; ±20	П100; М47; М75; М700; М1300; М2200	2; 10; 13,5	4,5; 5; 8		
	250		680...4700	$^{+50}_{-20}$; $^{+80}_{-20}$	Н30; Н70; Н90				

Продолжение табл. 3.26

Тип	Номинальное напряжение, В	Проходной ток, А	Диапазон номинальных емкостей, пФ	Допускаемое отклонение емкости, %	Группа ТКЕ	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
						диаметр (высота)	длина	ширина	
К10-51	350	10	3,9...8,2	±0,5 пФ	П100	10	5		
			10...150	±5; ±10; ±20	М47; М75; М750; М1500				
			330...4700	$^{+50}_{-20}$; $^{+80}_{-20}$	Н30; Н70; Н90				
К10-44	250	10; 25	100...3300	±20	М47; М750; М1500	6; 8	2,2; 3		
			6800...22 000	$^{+50}_{-20}$	Н30	8	2,2		
				Бумажные					
КБП-С КБП-Ф ОКБП-С ОКБП-Ф	125 (50 f=50 Гц)	20	0,1; 0,22; 0,47; 1			14; 20; 24	47...80		КБП-С ОКБП-С
	250 (127 f=50 Гц)		0,22			20; 24	56...80		
	500 (220 f=50 Гц)	20	0,022; 0,047; 0,1; 0,22; 0,47	±10; ±20; ±30		14, 20; 24	47; 71; 80		КБП-Ф ОКБП-Ф
	1000 (380) f=50 Гц)		0,022; 0,047; 0,1			20; 24	56; 67; 80		
	1600 (500 f=50 Гц)		0,022; 0,047; 0,1				73; 85		
КБП-С КБП-Ф	125 (50 f=50 Гц)	40	0,1; 0,22; 0,47; 1; 2;			20...40	47...83		
		70	0,22			20	56		
	500 (220 f=50 Гц)		0,022; 0,047; 0,1; 0,22; 0,47; 1	±10; ±20; ±30			47...83		
	1000 (380 f=50 Гц)	4	0,022; 0,047; 0,1; 0,22; 0,47			20...40	56...83		
	1600 (500 f=50 Гц)		0,1; 0,22			25; 40	85; 90		
	125 (50 f=50 Гц)		0,022; 0,1; 0,22; 0,47; 1; 2				64...116		
ОКБП-С ОКБП-Ф	500 (220 f=50 Гц)	42	0,022; 0,047; 0,1; 0,22; 0,47			20...40			

Окончание табл. 3.26

Тип	Номинальное напряжение, В	Проходной ток, А	Диапазон номинальных емкостей, пФ	Допускаемое отклонение емкости, %	Группа ТКЕ	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
						диаметр (высота)	длина	ширина	
	1000 (380 f=50 Гц)		0,022; 0,047; 0,1; 0,22; 0,47				90...116		
	16 000 (500 f=50 Гц)		0,022; 0,047; 0,1; 0,22			24...40	110; 116		
				Пленочные					
К73-18	30	10	0,27	±10; ±20		8	23	—	
К73-21	50		0,47...10			4...10	13...30	12...28	
	160		0,33...2,2			5...8,5	17...30	14...22	
	250 (127 f=50 Гц)	4; 6; 3	0,1...2,2	±10; ±20		5...10	13...30	12...24	
	500 (220 f=50 Гц)	6,3; 10	0,1...2,2			5...16	25...42	17...36	
К73-21	50		10			12		30	Вар. „а”
	160					10,5	30	24	
	250 (125 f=50 Гц)	6,3	2,2	±10; ±20		12		26	
	500 (220 f=50 Гц)	6,3; 10	0,33...2,2			26...43	24...38	10,5...18	
	160	—	2,2	±20		18	38	24	Вар. „в”
	500 (250 f=50 Гц)	4	1	±20		24	42	—	Вар. „г”
	50		0,47; 1			10; 14	28; 34		
	160 (50 f=50 Гц)		0,047; 0,1; 0,22; 0,47; 1; 2,2	±10; ±20		10; 14; 18	28; 34; 48		
	250 (127 f=50 Гц)	16; 25;	0,022; 0,047; 0,1; 0,22; 0,47			10; 14	28; 34	—	
К73-28	500 (250 f=50 Гц)	40; 63; 100	0,022; 0,047; 0,1; 0,22; 0,47; 1	(ряд Е3)		10; 14; 18; 26	28; 34; 48; 63		
	1000 (380 f=50 Гц)		0,1; 0,22; 0,47			26			
	1600 (380 f=50 Гц)		0,022; 0,047; 0,1; 0,22			14; 18; 26	34; 48; 63		

Таблица 3.27. **Фильтры проходные**

Тип	Номинальное напряжение, В	Проходной ток, А	Диапазон подавляемых частот, МГц	Номинальная емкость, пФ	Габаритные размеры, мм			Внешний вид
					диаметр (длина)	высота	ширина	
Б7-1	250	5	100...1500	3300	5	10	—	
Б7-2	250	5	100...1500	4700	6	12	—	
Б14	500	5	100...1500	4400	11,5	12	—	
Б23	300	5	100...6000	2200; 3300; 4700; 6800	11,5	12; 25	—	
Б23А	250	10; 15	1000...10 000	1000; 1500	5; 6	10; 12	—	
Б23Б	50	10; 25	0,01...10 000	470 000...6 800 000	10,5...	20	—	
	250			47 000...470 000	19,8			

Слюдяные и полистирольные конденсаторы имеют ТКЕ в пределах $(50...200)\cdot10^{-6}$ 1/°С, поликарбонатные $\pm50\cdot10^{-6}$ 1/°С. Для конденсаторов с другими видами диэлектрика ТКЕ не нормируется.

Допускаемое изменение емкости сегнетокерамических конденсаторов с нелинейной зависимостью ТКЕ приведено в табл. 3.19.

Параметры конденсаторов, их размеры и внешний вид даны в табл. 3.20—3.27.

3.4. МАГНИТНЫЕ СЕРДЕЧНИКИ, МАГНИТОПРОВОДЫ, ОБМОТОЧНЫЕ ПРОВОДА, ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОМПОНЕНТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Общие сведения

При проектировании радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) широкое применение находят различные виды электромагнитных компонентов (ЭК). К ним относятся:

трансформаторы: питания сетевые частотой 50 и 400 Гц, статических преобразователей напряжения, измерительные, согласующие, строчной и кадровой разверток телевизоров, импульсные, многофункциональные, регулируемые и пр.;

дроссели: фильтров выпрямителей, помехоподавления, накопительные импульсных регуляторов (стабилизаторов) напряжения и пр.;

магнитные усилители: с ОС и без ОС, одно- и двухтактные и пр.;

катушки индуктивности: постоянные, подстраиваемые, регулируемые и пр.;

устройства управления электронным лучом: отклоняющие фокусирующие, сведения электронных лучей и пр.;

линии задержки: с сосредоточенными и с распределенными параметрами и пр.

Характерной особенностью этих пассивных компонентов является наличие одной или нескольких обмоток на магнитопроводе (сердечнике) из магнитомягкого материала. Свойства магнитопроводов описываются их внешними статическими и динамическими характеристиками.

Связь между напряженностью магнитного поля H и магнитной индукцией в магнитопроводе B может быть представлена в виде основной кривой намагничивания (кривая 1 на рис. 3.4) и семейства сложных кривых, называемых петлями гистерезиса (кривые 2...4). В отличие от магнитожестких материалов, из которых преимущественно выполняются постоянные магниты, магнитомягкие материалы имеют узкую петлю

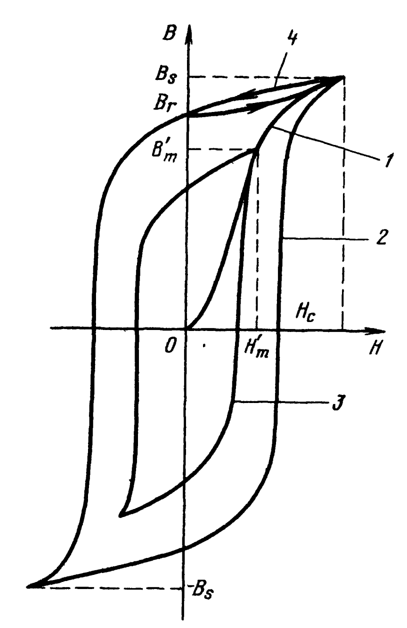


Рис. 3.4

гистерезиса, т. е. относительно малое значение коэрцитивной силы H_c, и обладают обратимыми свойствами намагничивания. Перемагничивание магнитопроводов по симметричным циклам происходит при двухполярном переменном напряжении синусоидальной, прямоугольной или треугольной формы. В трансформаторах статических преобразователей, магнитных усилителях возможна работа магнитопроводов с заходом в область насыщения магнитного материала. В импульсных трансформаторах используется режим однополярного намагничивания.

Магнитные свойства материалов магнитопроводов электромагнитных компонентов оцениваются следующими основными магнитными параметрами.

Коэрцитивная сила H_c (А/м) — это напряженность магнитного поля на предельной петле гистерезиса, необходимая для того, чтобы довести до нулевого значения остаточную магнитную индукцию B_r материала, предварительно намагниченного до насыщения (рис. 3.4).

Остаточная магнитная индукция B_r (Тл) — индукция в материале магнитопровода, предварительно намагниченном до насыщения, при которой напряженность магнитного поля становится равной нулю.

Индукция насыщения B_s (Тл) — магнитная индукция, по достижении которой материал магнитопровода практически достигает полного намагничивания, при этом магнитная проницаемость начинает резко падать.

Максимальная магнитная индукция B_m — предельно допустимое значение магнитной индукции в магнитопроводе для выбранного магнитомягкого материала, после которого наступает насыщение ($B_m<B_s$). Максимальной магнитной индукции соответствует значение максимальной напряженности магнитного поля H_m.

Коэффициент прямоугольности петли гистерезиса определяется по предельному циклу из соотношения

$$\alpha_п=B_r/B_s.$$

Абсолютная магнитная проницаемость μ_a (Гн/м) равна отношению магнитной индукции к соответствующему значению напряженности магнитного поля в данном материале:

$$\mu_a=B/H.$$

Для оценки свойств магнитных материалов обычно пользуются значениями относительной магнитной проницаемости

$$\mu_r=\mu_a/\mu_0,$$

где μ_0 — магнитная постоянная (магнитная проницаемость вакуума), равная $\mu_0=1{,}26\times\times10^{-6}$ Гн/м.

При этом различают начальную магнитную проницаемость $\mu_н$, измеряемую при очень слабых магнитных полях (при значениях H, близких к нулю), и максимальную магнитную проницаемость μ_{max}.

Критическая частота $f_{кр}$ — частота, при которой значение тангенса угла потерь материала сердечника катушки индуктивности достигает 0,1 (или 0,02), что соответствует снижению добротности до 10 (или до 50).

Потери в магнитопроводе при перемагничивании вызывают его разогрев. Различают две составляющие потерь: из-за гистерезиса $P_г$ и вихревых токов $P_в$. Первая составляющая растет с увеличением частоты сети f и массы магнитопровода G_c, вторая возрастает пропорционально массе магнитопровода, квадрату частоты сети и толщине пластины (ленты) s и уменьшается с увеличением удельного электрического сопротивления материала магнитопровода ρ.

Для уменьшения потерь мощности и разогрева трансформатора выше предельно допустимой температуры (последняя в основном определяется теплостойкостью обмоточных проводов и электроизоляционных материалов) магнитопроводы выполняют наборными из тонких пластин или лент с электроизоляционным покрытием, а также прессованными из порошкообразных ферромагнитных материалов. В справочных таблицах обычно указываются удельные потери, отнесенные к единице массы магнитного материала $P_{уд}$, в этом случае $P=P_{уд}G_c$.

Магнитомягкие материалы магнитопроводов. Из стали электротехнической тонколистовой изготавливаются магнитопроводы сетевых трансформаторов питания, дросселей фильтров, магнитных усилителей и пр. В соответствии с ГОСТ 21427.0—75 марка электротехнической стали записывается четырьмя цифрами, которые обозначают:

первая цифра — класс стали по структурному состоянию и виду прокатки: 1 — горячекатаная изотропная, 2 — холоднокатаная изотропная, 3 — холоднокатаная анизотропная с ребровой структурой;

вторая цифра — содержание кремния — 0 (до 0,4 %)...5 (содержание кремния от 3,8 до 4,8 %). Увеличение содержания кремния в стали способствует росту зерновой структуры, благодаря чему улучшаются магнитные свойства стали: повышается проницаемость в слабых и средних магнитных полях, уменьшаются потери. Однако сталь с содержанием кремния более 4 % становится хрупкой и твердой, что затрудняет изготовление методом штамповки или навивки ленты магнитопроводов малых размеров и сложной формы;

третья цифра — группа по основной нормируемой характеристике, в частности, удельные потери: 0 — при магнитной индукции 1,7 Тл и частоте 50 Гц; 1 — при 1,5 Тл и 50 Гц; 2 — при 1 Тл и 400 Гц; магнитная индукция при напряженности поля: 6 — 0,4 А/м; 7 — 10 А/м;

четвертая цифра означает порядковый номер типа стали.

Для магнитных цепей электрических машин, трансформаторов и приборов предназначены марки электротехнической стали тонколистовой и в виде ленты, магнитные свойства которых приведены в табл. 3.28—3.33.

Таблица 3.28. **Основные характеристики электротехнической горячекатаной изотропной тонколистовой стали (ГОСТ 21427.3—75)**

Марка стали	Прежнее обозначение стали	Толщина, мм	Удельные потери, Вт/кг		Магнитная индукция, Тл, при напряженности магнитного поля, А/м				
			$P_{1/50}$	$P_{1,5/50}$	1000	2500	5000	10 000	30 000
1211	Э11	1	5,8	13,4	—	1,53	1,63	1,76	2
		0,5	3,3	7,7	—	1,53	1,64	1,76	2
1212	Э12	1	5,4	12,5	—	1,53	1,62	1,76	2
		0,65	3,4	8	—	1,5	1,62	1,75	1,98
		0,5	3,1	7,2	—	1,5	1,62	1,75	1,98
1213	Э13	1	4,7	10,7	—	1,5	1,62	1,75	1,98
		0,65	3,2	7,5	—	1,5	1,62	1,75	1,98
		0,5	2,8	6,5	—	1,5	1,62	1,75	1,98
1311	Э21	0,5	2,5	6,1	—	1,48	1,59	1,73	1,95
1312	Э22	0,5	2,2	5,3	—	1,48	1,59	1,73	1,95
1313	—	0,5	2,1	4,6	—	1,48	1,59	1,73	1,95
1411	Э31	0,5	2	4,4	—	1,46	1,57	1,72	1,94
		0,35	1,6	3,6	—	1,46	1,57	1,71	1,92
1412	Э32	0,5	1,8	3,9	—	1,46	1,57	1,71	1,92
		0,35	1,4	3,2	—	1,46	1,57	1,71	1,92
1413	Э33	0,5	1,55	3,5	—	1,48	1,59	1,73	1,94
		0,35	1,35	3	—	1,48	1,59	1,73	1,94
1511	Э41	0,5	1,55	3,5	1,3	1,46	1,57	1,7	1,9
		0,35	1,35	3	1,3	1,46	1,57	1,7	1,9
1512	Э42	0,5	1,4	3,1	1,29	1,45	1,56	1,69	1,89
		0,35	1,2	2,8	1,29	1,45	1,56	1,69	1,89
1513	Э43	0,5	1,25	2,9	1,29	1,44	1,55	1,69	1,89
		0,35	1,05	2,5	1,29	1,44	1,55	1,69	1,89
1514	Э43А	0,5	1,15	2,7	1,29	1,44	1,55	1,69	1,89
		0,35	0,9	2,2	1,29	1,44	1,55	1,69	1,89

Таблица 3.29. **Основные характеристики электротехнической холоднокатаной изотропной тонколистовой стали (ГОСТ 21427.2—75)**

Марка стали	Прежнее обозначение стали	Толщина, мм	Удельные потери, Вт/кг		Магнитная индукция, Тл, при напряженности магнитного поля, А/м				
			$P_{1/50}$	$P_{1,5/50}$	1000	2500	5000	10 000	30 000
2011	Э0100	0,65	3,8	9	1,48	1,6	1,7	1,8	2,02
		0,5	3,5	8	1,49	1,6	1,7	1,8	2,02
2012	Э0300	0,65	3,6	8	1,5	1,62	1,72	1,82	2,02
		0,5	2,9	6,5	1,5	1,62	1,72	1,82	2,02
2013	—	0,65	3,1	7	1,53	1,64	1,74	1,85	2,05
		0,5	2,5	5,6	1,54	1,65	1,75	1,85	2,05
2111	Э100	0,65	4,3	10	1,45	1,58	1,66	1,75	2
		0,5	3,5	8	1,46	1,58	1,67	1,78	2
2112	Э1000АА	0,65	3,5	8	1,46	1,59	1,67	1,77	2,02
		0,5	2,6	6	1,46	1,6	1,68	1,77	2,02
2211	Э1300	0,65	3	7	1,4	1,56	1,65	1,73	1,96
		0,5	2,6	5,8	1,4	1,56	1,65	1,76	2
2212	—	0,65	2,6	6,3	1,42	1,58	1,67	1,77	2
		0,5	2,2	5	1,42	1,6	1,68	1,77	2
2311	Э2200	0,65	2,5	5,8	1,36	1,52	1,62	1,72	1,96
		0,5	1,9	4,4	1,38	1,54	1,64	1,74	1,96
2312	—	0,65	2,4	5,6	1,38	1,54	1,64	1,72	1,96
		0,5	1,75	4	1,4	1,56	1,66	1,74	1,96
2411	Э3100	0,5	1,6	3,6	1,37	1,49	1,6	1,73	1,96
		0,35	1,3	3	1,37	1,5	1,6	1,7	1,95
2412	—	0,5	1,3	3,1	1,35	1,5	1,6	1,7	1,95
		0,35	1,15	2,5	1,35	1,5	1,6	1,7	1,95

Таблица 3.30. **Основные характеристики электротехнической холоднокатаной анизотропной стали (ГОСТ 21427.1—75)**

Марка стали	Прежнее обозначение стали	Толщина, мм	Удельные потери, Вт/кг			Магнитная индукция, Тл, при напряженности магнитного поля, А/м		
			$P_{1/50}$	$P_{1,5/50}$	$P_{1,7/50}$	100	250	2500
3411	Э310	0,5	1,1	2,45	3,2	—	—	1,75
		0,35	0,8	1,75	2,5	—	—	1,75
3412	Э320	0,5	0,95	2,1	2,8	—	—	1,8
		0,35	0,7	1,5	2,2	—	—	1,8
3413	Э330	0,5	0,8	1,75	2,5	—	—	1,85
		0,35	0,6	1,3	1,9	—	—	1,85
		0,3	—	1,19	1,75	—	—	1,85
3414	Э330А	0,5	0,7	1,5	2,2	1,6	1,7	1,88
		0,35	0,5	1,1	1,6	1,6	1,7	1,88
		0,3	—	1,03	1,5	1,6	1,7	1,88
		0,28	—	1,05	1,55	—	—	1,85
3415	—	0,35	0,46	1,03	1,5	1,61	1,71	1,9
		0,3	—	0,97	1,4	1,61	1,71	1,9
		0,28	—	0,95	1,38	1,61	1,71	1,9
3416	—	0,28	—	0,89	1,3	1,61	1,7	1,9

Таблица 3.31. **Основные характеристики ленты электротехнической холоднокатаной анизотропной стали (ГОСТ 21427.4—78)**

Марка стали	Прежнее обозначение стали	Толщина, мм	Удельные потери, Вт/кг		Коэрцитивная сила, А/м	Магнитная индукция, Тл, при напряженности магнитного поля, А/м					
			$P_{1/400}$	$P_{1,5/400}$		40	80	200	400	1000	2500
3421	Э340	0,2	—	—	28	0,5	0,85	1,1	1,35	1,45	1,7
		0,15	10	23	34	0,5	0,8	1,1	1,3	1,45	1,7
		0,08	10	22	36	0,4	0,75	1,1	1,25	1,45	1,7
		0,05	10	21	36	0,4	0,75	1,1	1,25	1,45	1,7
3422	Э350	0,15	9	20	32	0,6	0,95	1,25	1,4	1,55	1,75
		0,08	8,5	19	32	0,55	0,9	1,25	1,35	1,55	1,75
		0,05	8,5	19	36	0,55	0,9	1,25	1,35	1,55	1,75
3423	Э360	0,15	8	19	26	0,8	1,1	1,4	1,55	1,65	1,82
		0,08	7,5	17	28	0,8	1,05	1,4	1,5	1,65	1,82
		0,05	—	17	—	0,8	1,05	1,4	1,5	1,65	1,82
3424	Э360А	0,15	—	18	—	0,8	1,1	1,4	1,55	1,65	1,82
		0,08	—	16	—	0,8	1,1	1,4	1,55	1,65	1,82
		0,05	7,5	16	32	0,8	1,1	1,4	1,55	1,65	1,82
3425	Э360АА	0,15	—	17	—	1,1	1,35	1,5	1,65	1,75	1,82
		0,08	—	15	—	1,05	1,3	1,5	1,65	1,75	1,82
		0,05	—	15	—	1,05	1,3	1,5	1,65	1,75	1,82
3411	Э310	0,2	1,5*	2,2**	28	0,5	0,85	1,1	1,35	1,45	1,7

* При индукции 1,5 Тл и частоте 50 Гц
** При индукции 1,7 Тл и частоте 50 Гц

Таблица 3.32. **Основные характеристики электротехнической стали марки 1521 (ГОСТ 21427.3—75)**

Марка стали	Толщина, мм	Удельные потери, Вт/кг		Магнитная индукция, Тл, при напряженности магнитного поля, А/м		
		$P_{0,75/400}$	$P_{1/400}$	500	1000	2500
1521	0,35	10,75	19,5	1,21	1,3	1,44
	0,22	8	14	1,2	1,29	1,42
	0,2	7,2	12,5	1,2	1,29	1,42
	0,1	6	10,5	1,19	1,28	1,4

Холоднокатаные анизотропные электротехнические стали обладают повышенными магнитными свойствами вдоль направления проката, что учитывается при штамповке пластин магнитопроводов Еще более эффективно используются эти свойства в ленточном витом магнитопроводе, так как в этом случае направление магнитных силовых линий на всех участках магнитной цепи будет совпадать с направлением проката. К тому же холоднокатаные стали имеют более высокую допустимую магнитную индукцию, что позволяет уменьшить массу и объем электромагнитных компонентов

Таблица 3.33. **Основные характеристики электротехнической стали марок 1571 и 1572 (ГОСТ 21427.3—75)**

Марка стали	Толщина, мм	Магнитная индукция, Тл, при напряженности магнитного поля, А/м							
		10	20	50	70	100	200	500	1000
1571	0,35	0,035	0,14	0,48	0,61	0,77	0,92	1,21	1,3
	0,2	0,03	0,1	0,38	0,58	0,66	0,9	1,18	1,29
1572	0,35	0,045	0,17	0,57	0,71	0,87	1,02	1,25	1,3
	0,2	0,04	0,14	0,48	0,62	0,74	0,92	1,2	1,29

Таблица 3.34. **Рекомендуемые толщины ленты из пермаллоя в зависимости от рабочей частоты, мм**

Марка	Диапазон рабочих частот, кГц					
	1 2	2 6	6 10	10 20	20 50	50 100
40НКМП	0,1 ..0,05	0,05	0,05...0,02	—	—	—
50НП	0,1	0,05...0,02	0,02	—	—	—
68НМП	0,1...0,05	0,05	0,02	—	—	—
34НКМП	0,1	0,05	0,05...0,02	0,02	—	—
79НМ	0,1	0,05	0,05	0,02	0,02	—
47НК	0,1	0,02	0,02	0,02	0,02...0,01	0,01
40НКМ	0,1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02...0,01

Таблица 3.35. **Основные характеристики пермаллоя различных марок**

Марка	Класс	Вид материала	Толщина, мм	Начальная магнитная проницаемость, не менее	Максимальная магнитная проницаемость, не менее	Коэрцитивная сила, А/м, не более	Индукция насыщения, Тл, не менее
50НП	I	Ленты холоднокатаные	0,05. .0,08	2 000	20 000	20	1,5
			0,1...0,15	2 300	25 000	10	
			0,2...0,25	2 600	30 000	12	
			0,35...0,5	3 000	35 000	10	
	II	То же	0,1...0,15	3 000	30 000	14	1,5
			0,2...0,3	3 500	35 000	12	
			0,35...0,5	4 000	45 000	10	
	III	»	0,05...0,2	10 000	60 000	0,4	1,52
79НМ	I	»	0,005	7 000	30 000	8	0,75
			0,01	14 000	60 000	5,6	
			0,02	16 000	70 000	4	
			0,05	16 000	90 000	3,2	
			0,08	16 000	90 000	3,2	
			0,1	20 000	120 000	2,4	
			0,15	20 000	120 000	2,4	
80НХС	II	»	0,005	10 000	35 000	6,4	0,73
			0,01	16 000	90 000	3,2	
			0,02	20 000	100 000	2,4	
			0,05	20 000	120 000	1,6	
			0,08	20 000	120 000	1,6	
			0,10	22 000	150 000	1,2	
			0,15	22 000	150 000	1,2	
			0,2; 0,25	25 000	180 000	1,2	
			0,35; 0,5	30 000	220 000	1	
			0,8; 1	30 000	220 000	1	
	III	Ленты холоднокатаные	0,01	20 000	120 000	2,4	0,73
			0,02	25 000	150 000	1,6	
			0,05; 0,1	30 000	200 000	1,2	
			0,2; 0,25	30 000	220 000	1	
			0,35	35 000	250 000	1	

Таблица 3.36 **Частотные характеристики пермаллоя различных марок**

Марка	Толщина, мм	Удельные потери, Вт/кг (числитель), и напряженность магнитного поля, А/м (знаменатель)															
		1 кГц				2,4 кГц				5 кГц				10 кГц			
		Магнитная индукция, Тл															
		0,3	0,5	0,65	1	0,3	0,5	0,65	1	0,3	0,5	0,65	1	0,3	0,5	0,65	1
34НКМП	0,1	—	2,2/12	3,6/13	7,2/17	—	8/16	12,5/19	26/25	—	25/24	38/30	79/40	—	68/34	103/39	220/54
	0,05	—	2,2/15	3,6/16	7/17	—	8,5/20	12,5/21	23/23	—	23/26	33/28	66/30	—	60/33	90/36	170/44
	0,02	—	3,4/16	4,5/17	8,3/18	—	9/19	15/21	27/22	—	24/22	35/24	60/26	—	50/31	75/34	135/40
79НМ	0,05	—	0,9/4	1,4/9	—	—	2,9/6	4,8/10,5	—	—	10,5/8	16/14	—	—	32/13	50/20	—
50НП	0,5	—	3,5/28	5/29	9,5/30	—	12/32	16,8/33	30/34	—	35/36	48/38	95/41	—	85/42	120/44	250/50
	0,02	—	3/14	4,4/15	8/16	—	9,5/17	13,5/20	24/24	—	24/21	35/22	60/26	—	56/29	80/32	140/36
47НК	0,02	2,5/250	6/450	25/900	—	4/250	11/460	46/920	—	7,5/260	20/470	85/940	—	15/280	45/490	200/980	—
40НКМ	0,02	1/150	3/250	12/480	—	1,8/150	5/250	22/480	—	3/150	9/250	42/530	—	6,5/180	22/310	100/600	—

Магнитомягкие сплавы — пермаллои представляют собой сплавы железа с никелем (содержание последнего от 36 до 80 %). Для улучшения отдельных магнитных свойств пермаллоев в сплав вводят еще молибден, хром, медь и другие металлы. Характерной особенностью пермаллоев является их легкая намагничиваемость в слабых магнитных полях, большие значения начальной и максимальной магнитной проницаемости, высокие значения удельного электрического сопротивления. Так, начальная магнитная проницаемость пермаллоя марок 79НМ и 80НХС может достигать значений 10 000...30 000 (у электротехнической стали она составляет 400...700). Плотность пермаллоя различных марок составляет: 8200 кг/м^3 для 50НП и 79НМ, 8600 кг/м^3 для 47НК, 8700 кг/м^3 для 34НКМП Удельное электрическое сопротивление пермаллоя 79НМ — 0,55 Ом·мм^2/м, 80НХС — 0,62 Ом×мм^2/м.

Пермаллои — пластичные сплавы, поэтому они легко прокатываются в очень тонкие листы или ленты (до 0,005 мм). Применение пермаллоев малых толщин (0,05 мм и менее) предполагает выполнение магнитопроводов в виде неразрезных витых лентой кольцевых сердечников Пермаллои очень чувствительны к механическим воздействиям, их магнитные характеристики могут быть необратимо ухудшены при механическом сжатии, деформации сердечника, поэтому пермаллоевые магнитопроводы перед намоткой помещают в немагнитные защитные кожухи с крышкой. Рекомендуемые толщины ленты из пермаллоя различных марок для магнитопроводов электромагнитных компонентов, работающих на повышенных частотах (трансформаторы статических преобразователей напряжения, магнитные усилители и пр), приведены в табл. 3.34. Применение магнитопроводов из пермаллоя вместо стали позволяет уменьшить массу и объем трансформатора тем больше, чем выше рабочая частота. Использование пермаллоя на частотах ниже 2 кГц вместо стали заметного практического эффекта не дает.

Основные характеристики пермаллоев с повышенной индукцией насыщения (50НП) и с высокой магнитной проницаемостью в слабых магнитных полях (79НМ, 80НХС) приведены в табл. 3 35, а частотные характеристики пермаллоев различных марок — в табл. 3 36

Ферриты магнитомягкие — вещества поликристаллического строения, получаемые в результате спекания при высокой температуре смеси оксидов железа с оксидами цинка, марганца, никеля и других металлов для придания ей заданных свойств, последующего измельчения и формирования из порошка магнитопроводов необходимой формы (прессованием в стальных формах, выдавливанием через специальные мундштуки, методом горячего литья под давлением и пр.). Благодаря высокому удельному сопротивлению потери мощности в ферритах малы, а рабочая частота велика, поэтому ферритовые сердечники используют при изготовлении электромагнитных компонентов, работающих в областях звуковых и радиочастот. Наиболее широко применяются марганцево-цинковые (низкочастотные) и никель-цинковые (высокочастотные) ферритовые сердечники

Марки ферритов обозначаются следующим об-

Окончание табл. 3.36

Марка	Толщина, мм	Удельные потери, Вт/кг (числитель), и напряженность магнитного поля, А/м (знаменатель)																			
		20 кГц					50 кГц					75 кГц					100 кГц				
		Магнитная индукция, Тл																			
		0,2	0,3	0,5	0,65	1	0,2	0,3	0,5	0,65	1	0,2	0,3	0,5	0,65	1	0,2	0,3	0,5	0,65	1
34НКМП	0,02	—	—	120/47	170/50	300/55	—	—	350/65	500/70	800/80	—	—	560/78	800/90	—	—	—	—/85	—/95	—/110
	0,05	—	—	135/65	210/70	420/80	—	—	480/73	700/77	—/85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50НП	0,02	—	—	135/80	200/88	350/95	—	—	430/96	630/94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
79НМ	0,02	8,5/8	19/11	54/20	—	—	30/12	70/17	180/30	—	—	60/13	135/18,5	370/34	—	—	80/14	180/20	500/38	—	—
	0,01	5/5,5	10,5/7,5	28/14	—	—	16/8,5	33/13	90/22	—	—	27/10	55/15	150/23	—	—	37/11	80/16	220/24	—	—
47НК	0,02	20/120	42/190	122/320	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40НКМ	0,02	6/—	16/230	50/360	—	—	24/—	56/330	170/500	—	—	—	—	—	—	—	70/—	150/550	400/800	—	—

разом: первое число — среднее значение начальной магнитной проницаемости, буква Н — низкочастотный (до 5 МГц) или В — высокочастотный (свыше 5 МГц); следующая буква означает: Н — никель-цинковый или М — марганцево-цинковый феррит. Последняя цифра означает модификацию данной марки феррита. В конце марки могут быть (не обязательно) буквы: С — для работы в сильных магнитных полях или И — для работы в импульсных полях.

Достоинства ферритов перед пермаллоем — более высокая рабочая частота, меньшая стоимость, возможность изготовления магнитопроводов практически любой формы. К недостаткам следует отнести низкие магнитную проницаемость и индукцию насыщения, большую зависимость параметров от температуры и механических воздействий, например ударов. Основные параметры различных марок ферритов общего применения приведены в табл. 3.37, а термостабильных ферритов — в табл. 3.38.

Магнитодиэлектрики, как и ферриты, являются высокочастотными магнитомягкими материалами. Они имеют некоторые преимущества перед ферритами: более высокую стабильность магнитных свойств, меньшую стоимость. Кроме того, более простая, чем у ферритов, технология позволяет получать сердечники более высоких классов точности и чистоты. По ряду электромагнитных параметров магнитодиэлектрики уступают ферритам. Магнитные свойства магнитодиэлектриков в значительной степени определяются особенностями намагничивания отдельных ферромагнитных частиц, их размерами, формой, взаимным расположением, соотношением между количеством ферромагнетика и диэлектрика. Наиболее широко применяются магнитодиэлектрики на основе альсифера и карбонильного железа.

Альсифер представляет собой тройной сплав, состоящий из железа, кремния (порядка 9...11 %) и алюминия (6...8 %). Альсифер как сплав представляет собой литой нековкий материал с высокой твердостью и хрупкостью. Альсифер является дешевым и недефицитным материалом, хорошо поддается размолу и практически используется в качестве ферромагнитной составляющей магнитодиэлектриков. Связующими изолирующими составами служат как органические материалы (бакелит, полистирол, шеллак), так и неорганические (жидкое стекло и пр.). Сердечники прессуют, затем подвергают термической и химической обработкам. Важной особенностью альсифера является то, что его температурный коэффициент магнитной проницаемости в зависимости от содержания кремния и алюминия может быть меньше, больше или равен нулю (компенсированным).

Основные параметры альсифера различных марок, из которого изготовляются кольцевые сердечники в соответствии с ГОСТ 8763—77 для катушек индуктивности и трансформаторов радиоаппаратуры, приведены в табл. 3.39.

Буквы в названии марки альсифера означают: ТЧ — тональная (звуковая) частота, ВЧ — высокая частота, К — с компенсированным температурным коэффициентом магнитной проницаемости.

Карбонильное железо получают термическим разложением пентакарбонила железа $Fe(CO)_5$.

Таблица 3.37. **Основные электромагнитные параметры высокопроницаемых ферритов и ферритов**

Марка	Начальная магнитная проницаемость $\mu_н$	Коэффициент температурной нестабильности $\alpha_\mu \cdot 10^6$, 1/°С, в интервале температур		Магнитные потери $tg\,\delta \cdot 10^6$ при		
		−60 +20 °С	+20 +125 °С	f, МГц	H_m=0,8 А/м	H_m=8 А/м
20000НМ	15 000...25 000	0...1,5	—0,5...+0,75	0,01	10	30
10000НМ	8000...15 000	0...2	0...1,5	0,02	35	90
6000НМ1	4800...8000	0...1,5	0...1,5	0,03	10	30
6000НМ	4800...8000	—	—	0,03	45	75
4000НМ	3500...4800	—	—	0,1	35	60
3000НМ	2500...3500	2...3	1...2	0,1	35	60
2000НМ	1700...2500	0...3,5	—1...+3,5	0,1	15	45
2000НН	1800...2400	1,5...3,7	—0,6...+4,5	0,1	85	270
1500НМ	1200...1800	2,5...4,5	—0,5...+5	0,1	15	45
1000НМ	800...1200	2...6	—	0,1	50	150
1000НН	800...1200	2,5...7,5	—	0,1	22	75
600НН	500...800	6...15	—	0,1	12	25
400НН1	320...480	25...30	—6...—8	0,1	18	25
400НН	350...500	5...15	—	0,1	18	50
100НН	80...120	30...90	—	7	125	—

Таблица 3.38. **Основные магнитные параметры термостабильных ферритов**

Марка	Начальная магнитная проницаемость, $\mu_н$	Коэффициент температурной нестабильности $\alpha_\mu \cdot 10^6$, 1 °С, в интервале температур		Магнитные потери $tg\,\delta \cdot 10^6$ при		
		−60 +20 °С	+20 +125 °С	f, МГц	H_r=0,8 А/м	H_r=8 А/м
2000НЗМ	1700...2500	0...1,5	—	0,1	12	35
2000НМ1	1700...2500	—	—	0,1	15	45
1500НМЗ	1200...1800	—0,2...+1,5	—0,2...+1,1	0,1	5	15
1500НМ1	1200...1800	—	—	0,1	15	45
1000НМЗ	800...1200	—0,2...+,2	—0,2...+1	0,1	5	15
700НМ	500...900	—0,2...+1,2	—0,2.. +1,2	3	80	—
150ВН	130...170	—	—	12	135	—
100ВН	80...120	—	—	18	135	—
50ВН	40...60	—3...+10	0...+10	20	180	—
30ВН	25...35	—	—35...+35	30	170	—
20ВН	16...24	—2...+20	—0,2...+20	30	300	—
7ВН	6...8	—14...+70	—14...+70	70	680	—

В зависимости от условий термического разложения карбонильное железо может быть получено в виде порошка с частицами сфероидальной формы, губчатое и пр. Для изготовления магнитодиэлектриков выпускаются два класса карбонильных железных порошков: «Р» — для использования в радиоаппаратуре и «Пс» — для аппаратуры проводной связи.

Технологический процесс производства сердечников из порошка карбонильного железа состоит в изолировании порошка, прессовании деталей и их низкотемпературной термической обработке для придания механической прочности и стабилизации свойств. В табл. 3.40 приведены основные электромагнитные параметры магнитодиэлектриков на основе карбонильного железа.

Магнитодиэлектрики на основе *молибденового пермаллоя* имеют наибольшую начальную магнитную проницаемость (до 200...250), более высокую стабильность и меньшие потери на гистерезис и вихревые токи (при равных значениях проницаемости), чем альсиферы. Для придания пермаллою хрупкости, что необходимо при измельчении его в порошок, в процессе выплавки вводят небольшие добавки серы. Сплав марки 80Н2М, предназначенный для изготовления магнитодиэлектрика, имеет состав: никеля — 81 %, молибдена — 2,6 %, железа — 16,4 %, серы — 0,02 %. При изготовлении отливок обеспечивают рекристаллизацию с образованием определенной структуры. При помоле в высокодисперсный порошок стремятся сохранить форму и размеры зерен, покрытых тончайшей пленкой сульфидов металлов. Затем порошок смешивают с диэлектриком, прессуют изделия и производят их термообработку в вакууме для снятия внутренних напряжений. По данной технологии изготавливают четыре марки магнитодиэлектриков на основе молибденового пермаллоя (Мо-пермаллоя), магнитные параметры которых приведены в табл. 3.41.

Аморфные магнитные материалы — новая группа магнитомягких ма-

общего назначения

Максимальная магнитная проницаемость μ_{max}	Параметры петли гистерезиса			Критическая частота $f_{кр}$, МГц, при		Удельное электрическое сопротивление ϱ, Ом·м
	B, Тл	B_r, Тл	H_c, А/м	tg δ=0,1	tg δ=0,02	
35 000	0,35	0,11	2	0,005	—	0,01
17 000	0,35	0,11	4	0,05	0,02	0,01
10 000	0,35	0,09	8	0,1	0,03	1
10 000	0,35	0,11	8	0,005	—	0,1
7 000	0,35	0,13	8	0,1	0,005	0,5
3 500	0,35	0,12	12	0,1	0,002	0,5
3 500	0,35	0,13	24	0,5	0,05	0,5
2 500	0,38	0,11	24	0,6	0,1	0,5
1 800	0,35	0,11	20	0,6	0,2	0,5
7 000	0,25	0,12	8	0,1	—	10
3 000	0,27	0,15	20	0,4	—	10^4
1 600	0,31	0,14	32	1,5	0,7	10^4
1 400	0,28	0,16	48	6	3,9	10^3
1 100	0,25	0,12	64	3,5	1,5	10^4
850	0,44	0,29	56	30	15	10^8

Максимальная магнитная проницаемость μ_{max}	Параметры петли гистерезиса				Критическая частота $f_{кр}$, МГц, при		Удельное электрическое сопротивление ϱ, Ом·м
	H, А/м	B, Тл	$B_ч$, Тл	H_c, А/м	tg δ=0,1	tg δ=0,02	
3500	800	0,36	0,12	25	0,5	0,05	0,5
3500	800	0,38	0,12	16	0,5	0,05	5
3000	800	0,38	0,08	16	1,5	0,3	20
3000	800	0,35	0,1	16	0,6	0,1	5
2000	800	0,33	0,1	28	1,8	0,6	10
1000	800	0,38	0,05	240	5	2	20
330	4000	0,35	0,15	240	25	15	10^4
280	4000	0,36	0,15	280	35	25	10^5
170	4000	0,3	0,2	360	70	40	10^4
90	4000	0,26	0,07	520	200	110	10^5
45	4000	0,2	0,1	1000	120	65	10^6
15	4000	0,07	0,06	2240	220	150	10^6

Таблица 3.39. **Основные магнитные параметры кольцевых сердечников из прессованного порошкообразного альсифера (ГОСТ 8763—77)**

Марка	Начальная магнитная проницаемость $\mu_н$	Магнитные потери на частоте 100 кГц			Критическая частота $f_{кр}$, МГц, при tg δ=0,02	Температурный коэффициент начальной магнитной проницаемости $\alpha_{\mu H}\cdot10^6$, 1/°C, в интервале температур	
		Тангенс угла магнитных потерь tg $\delta\cdot10^3$ при напряженности магнитного поля H_m=8/4,8 А/м	Коэффициент потерь на гистерезис $\delta_h\cdot10^4$, м/А	Коэффициент потерь на вихревые токи $\delta_f\cdot10^9$, 1/Гц		—60 +20 °C	+20 +70 °C
ТЧ90	79...91	83,9/83,5	1,1	—	0,02	—	⩽—600
ТЧ60	53...63	27,7/27,4	0,81	—	0,07	—	⩽—400
ТЧК55	48...58	27,7/27,4	0,81	—	0,07	+150...—450	—150...+50
ВЧ32	28...33	10/9,9	0,38	—	0,2	—	⩽—250
ВЧ22	19...24	4,7/4,6	0,25	25	0,7	—	⩽—200
ВЧК22	19...24	4,7/4,6	0,25	25	0,7	+150...—450	—50...+50

Таблица 3.40. **Электромагнитные параметры магнитодиэлектрика на основе карбонильного железа (ГОСТ 13610—79)**

Марка	Эффективная магнитная проницаемость $\mu_{эф}$ на частоте 5/50 МГц	Коэффициенты потерь			Критическая частота $f_{кр}$, МГц	Температурная нестабильность магнитной проницаемости $\alpha_\mu \cdot 10^6$, 1/°C, в интервале температур −60 +100 °C
		на гистерезис $\delta_h \cdot 10^6$, м/А	на вихревые токи $\delta_f \cdot 10^9$, 1/Гц	динамические $\delta_д \cdot 10^3$		
Р-10	2,9/—	3...5	2...3,5	0,15...0,25	10	25...180
Р-20	2,95/—	1,5...2,5	2...3	0,05...0,1	20	20...150
Р-100	—/1,55	1,25...1,85	0,15...1,2	0,05...0,1	100	50...100
Р-100Ф	—/1,6	1,2...2	1...2,8	0,05...0,1	100	30...150
Пс	2,9/—	⩽1,5	⩽3,5	⩽0,2	20	25...110

Таблица 3.41. **Электромагнитные параметры магнитодиэлектриков на основе молибденового пермаллоя**

Марка	Начальная магнитная проницаемость $\mu_н$	Коэффициенты потерь			Температурный коэффициент магнитной проницаемости		
		на гистерезис $\delta_h \cdot 10^5$, м/А	на вихревые токи $\delta_f \cdot 10^9$, 1/Гц	динамические $\delta_д \cdot 10^3$	$\alpha_\mu \cdot 10^6$ без термокомпенсации	$\alpha_\mu \cdot 10^6$ с термокомпенсацией	в диапазоне температур, °C
П250	230	8,2	1000	3	200	—	−60...+85
П140	140	6,3	450	2	100	—	−20...+70
П100	100	3,1	200	2	100	30±15	−60...+85
П60	60	1,9	100	1,5	100	30±15	−60...+85

териалов с сочетанием высоких магнитных, механических свойств и низкой стоимости. Характерной особенностью их структуры является отсутствие упорядоченности, периодичности расположения атомов в кристаллической решетке, что достигается высокой скоростью охлаждения расплава. Процесс производства аморфных сплавов проще и дешевле, чем традиционных листовых магнитомягких сталей и пермаллоев. Малая коэрцитивная сила и потери мощности, высокие значения магнитной проницаемости, индукции насыщения и удельного сопротивления, хорошая температурная и временная стабильность магнитных свойств — все это обеспечивает перспективу применения аморфных сплавов и позволяет существенно улучшить параметры электромагнитных компонентов.

Магнитомягкие аморфные сплавы содержат железо, кобальт, никель и до 15...25 % металлоидов (бора, углерода, кремния, фосфора), для придания дополнительных свойств (термостабильности, антикоррозийности и пр.) вводят хром, тантал, ванадий. Наиболее перспективными отечественными сплавами являются железоникелевые, высококобальтовые и высокожелезистые аморфные сплавы, например 45НПР-А, 44НМР-А, 85КСР-А, 94МСР-А и др. (буква А в марках означает «аморфный»). При магнитной индукции до 0,7 Тл на частотах до 100...300 кГц потери мощности в 2—3 раза ниже, чем в электротехнических сталях. Аморфный сплав марки 94МСР-А имеет индукцию насыщения 1,6 Тл и удельные потери на частоте 50 Гц порядка 0,25...0,46 Вт/кг. К недостаткам аморфных сплавов следует отнести значительные разбросы параметров из-за несовершенства технологических процессов их обработки, относительно большую твердость ленты, невысокую плоскостность ленты (коэффициент заполнения магнитопровода не превышает 0,85).

Магнитопроводы и сердечники электромагнитных компонентов. Магнитопровод (сердечник) является одним из основных элементов конструкции практически любого электромагнитного компонента. Марка ферромагнитного материала, вид и тип магнитопровода выбираются в зависимости от назначения компонента, рабочей частоты, условий эксплуатации, требований к уровню наводимых электромагнитных помех и пр.

В соответствии с ГОСТ 20249—80 магнитопроводы трансформаторов и дросселей, работающих с частотой 50 Гц, выполняются из электротехнической стали марок 1511, 1521, 3411, 3412 толщиной 0,20...0,50 мм. Применение магнитопроводов из холоднокатаной стали марок 3421...3425 позволяет повысить КПД трансформаторов питания, уменьшить их массу и объем при одновременном росте стоимости изделий. Для трансформаторов и дросселей, работающих с частотой 400...5000 Гц, магнитопроводы выполняются из стали толщиной 0,05...0,08 мм.

Магнитопроводы из электротехнической стали выполняются в виде пластинчатой или ленточной конструкции, т. е. либо набираются из от-

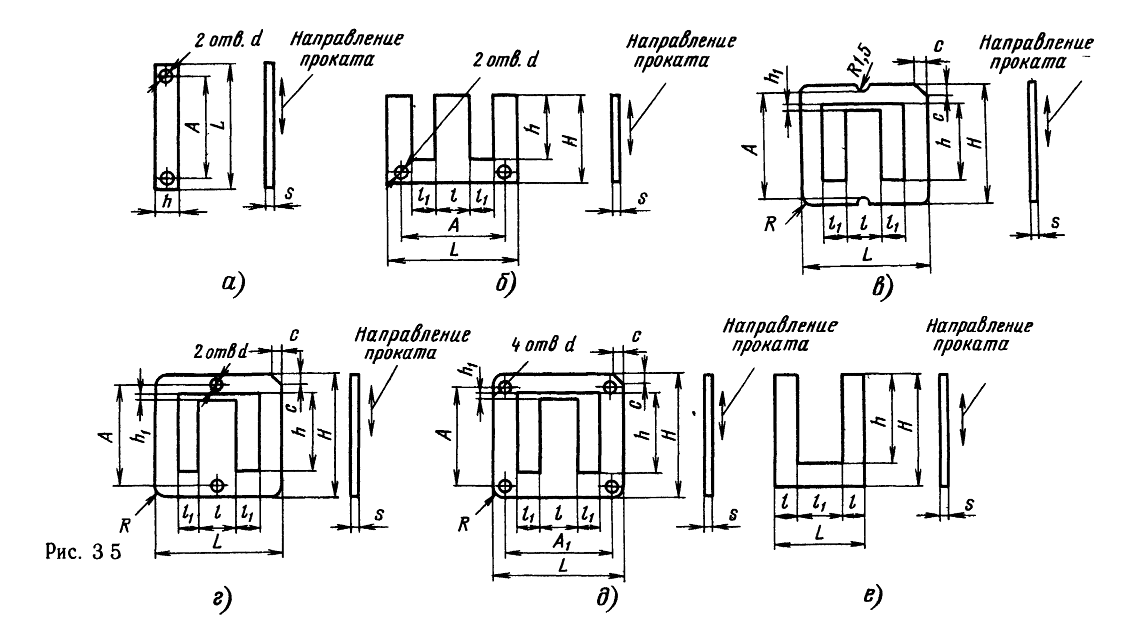


Рис. 3 5

дельных пластин специальной формы, либо навиваются из ленты. Последняя конструкция более технологична и находит широкое применение в современных унифицированных серийно выпускаемых трансформаторах и дросселях радиоэлектронной аппаратуры. Магнитопроводы пластинчатой конструкции имеют ограниченное применение, однако широко применяются в радиолюбительских устройствах.

Основные типы пластин в соответствии с ГОСТ 20249—80 приведены на рис. 3.5, *а — е*. На рисунке представлены пластины: *а* — I-образная, *б* — Ш-образная с высотой стержней h больше ширины окна l_1; *в — д* — Ш-образная с постоянным немагнитным зазором h_1 и высотой среднего стержня h более ширины окна l_1; *е* — П-образная высотой стержней h больше ширины окна l_1.

Магнитопроводы, собираемые из Ш- и I-образных пластин, называются *броневыми* (рис. 3.6, *а*), а из П-образных пластин — *стержневыми* (рис. 3.6, *б*). В зависимости от типов применяемых при сборке пластин магнитопроводы подразделяются на следующие типы: ШI (рис. 3.7, *а, б*), ШШ (рис. 3.7, *в, г*), ШУ (рис. 3.7, *д*), ПН, ПУ (рис. 3.7, *е*), ШП (рис. 3.7, *ж*). Магнитопроводы типов ШI, ШШ, ШП в зависимости от сборки, определяющей взаимную ориентацию пластин, выполняются сборкой пластин встык (рис. 3.7, *а, в, ж*, исполнение 1) и сборкой пластин внахлест (рис. 3.7, *б, г — е*, исполнение 2). Магнитопроводы типов ШУ, ПН, ПУ собирают только внахлест отдельными пластинами или пакетами из них.

В ленточных магнитопроводах эффективно используются свойства холоднокатаной анизотропной стальной электротехнической ленты, в том числе малой толщины (до 0,02 мм). Трансформаторы, выполненные на ленточных магнитопроводах, по сравнению с пластинчатыми имеют меньшие магнитные поля рассеяния. Для облегчения операции намотки обмоток ленточные магнитопроводы выполняются разрезными, в этом случае для получения хорошего магнитного контакта поверхности их стыка шлифуются с высокой степенью обработки и плотно прижимаются при сборке.

Типы и размеры разрезных ленточных магнитопроводов стержневой (рис. 3.8, *а*), броневой (рис. 3.8, *б*) и кольцевой (рис. 3.8, *в*) конструкций, установлены ГОСТ 22050—76. На рис. 3.8 приняты обозначения: а — толщина навивки, в — ширина ленты, с — ширина окна, h — высота окна, R — внутренний радиус, равный 0,5...2 мм в зависимости от толщины ленты.

Ленточные магнитопроводы стержневой и броневой конструкций подразделяются на типы: ПЛ — П-образные ленточные; ПЛМ — П-образные ленточные с уменьшенным отношением ширины окна к толщине навивки; ПЛР — П-образные ленточные с геометрическими размерами, обеспечивающими наименьшую стоимость трансформаторов, ШЛ — Ш-образные ленточные; ШЛМ — Ш-образные ленточные с уменьшенным отношением ширины окна к толщине навивки;

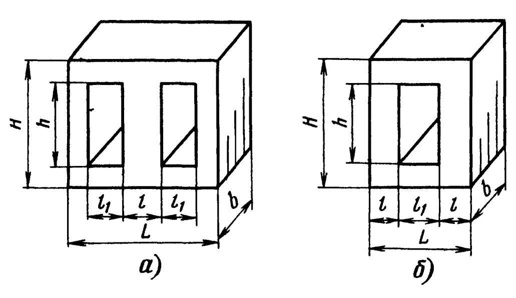


Рис. 3.6

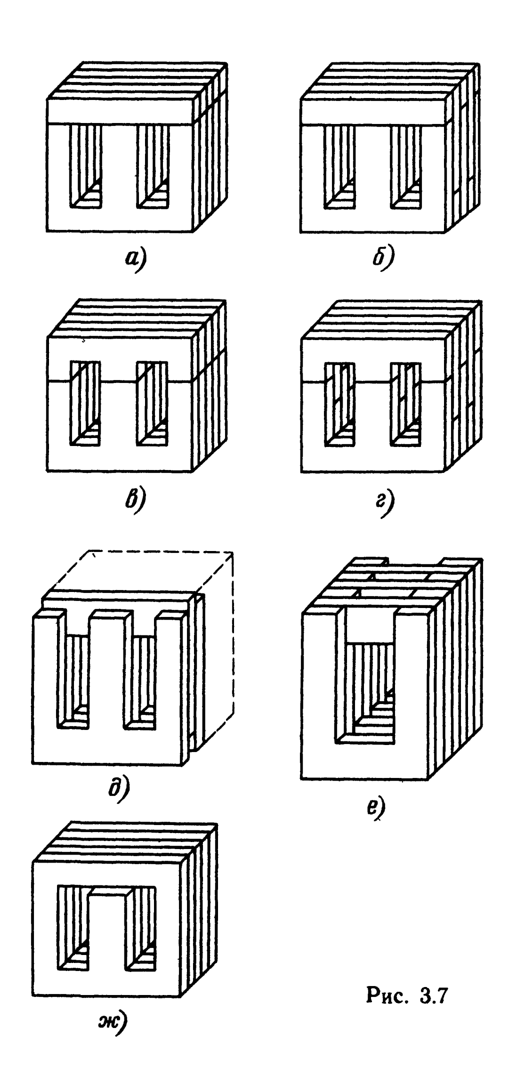


Рис. 3.7

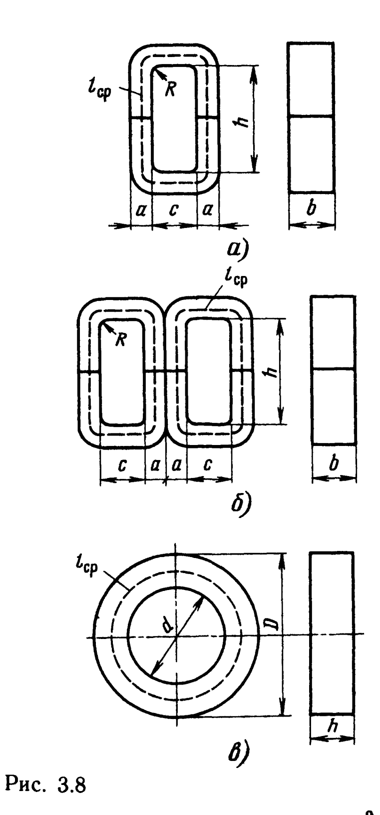
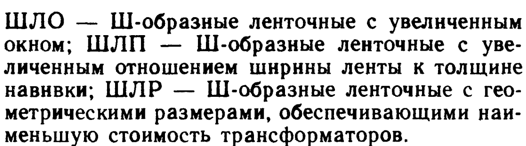


Рис. 3.8



ШЛО — Ш-образные ленточные с увеличенным окном; ШЛП — Ш-образные ленточные с увеличенным отношением ширины ленты к толщине навивки; ШЛР — Ш-образные ленточные с геометрическими размерами, обеспечивающими наименьшую стоимость трансформаторов.

В соответствии с рекомендациями ГОСТ 22050—76 магнитопроводы типа ШЛМ применяют в трансформаторах наименьшей массы и стоимости на частоте 50 Гц до мощности порядка 100 В·А, а магнитопроводы ПЛМ — при мощности свыше 100 В·А. Магнитопроводы типа ПЛ целесообразно применять в низковольтных трансформаторах питания наименьшей массы на частотах 50 и 400 Гц мощностью свыше 500 В·А, а магнитопроводы типа ШЛ — на частоте 400 Гц. Магнитопроводы типа ШЛО применяют в низковольтных трансформаторах на частотах от 1000 до 5000 Гц и в высоковольтных трансформаторах на частотах от 50 до 5000 Гц наименьших массы, объема и стоимости, а магнитопроводы типа ШЛП — в трансформаторах и дросселях наименьшего объема на частотах от 400 до

Рис 3 9

Таблица 3.42. **Магнитопроводы типа ШЛМ**

Типоразмер магнитопровода	a, мм	b, мм	c, мм	h, мм	$S_с$, см^2	$S_{ок}$, см^2	$S_с \cdot S_{ок}$, см^4	$l_{ср}$, см
ШЛМ8×6,5		6,5			0,52		0,338	
ШЛМ8×8	4	8	5	13	0,64	0,65	0,416	4,9
ШЛМ8×10		10			0,8		0,52	
ШЛМ8×12,5		12,5			1		0,65	
ШЛМ8×16		16			1,28		0,832	
ШЛМ10×8		8			0,8		0,864	
ШЛМ10×10		10			1		1,08	
ШЛМ10×12,5	5	12,5	6	18	1,25	1,08	1,35	6,4
ШЛМ10×16		16			1,6		1,728	
ШЛМ10×20		20			2		2,16	
ШЛМ12×10		10			1,2		2,208	
ШЛМ12×12,5		12,5			1,5		5,078	
ШЛМ12×16	6	16	8	23	1,92	1,84	3,533	8,1
ШЛМ12×20		20			2,4		4,416	
ШЛМ12×25		25			3		5,52	
ШЛМ16×12,5		12,5			2		4,68	
ШЛМ16×16		16			2,56		5,99	
ШЛМ16×20	8	20	9	26	3,2	2,34	7,488	9,5
ШЛМ16×25		25			4		9,36	
ШЛМ16×32		32			5,12		11,981	
ШЛМ20×16		16			3,2		13,824	
ШЛМ20×20		20			4		17,28	
ШЛМ20×25	10	25	12	36	5	4,32	21,6	12,7
ШЛМ20×32		32			6,4		27,648	
ШЛМ20×40		40			8		34,56	
ШЛМ25×20		20			5		33,75	
ШЛМ25×25		25			6,25		42,187	
ШЛМ25×32	12,5	32	15	45	8	6,75	54	15,9
ШЛМ25×40		40			10		67,5	
ШЛМ25×50		50			12,5		84,375	
ШЛМ32×25		25			8		79,2	
ШЛМ32×32		32			10,24		101,38	
ШЛМ32×40	16	40	18	55	12,8	9,90	126,72	19,6
ШЛМ32×50		50			16		158,4	
ШЛМ40×32		32			12,8		221,18	
ШЛМ40×40		40			16		276,48	
ШЛМ40×50	20	50	24	72	20	17,28	354,6	25,5
ШЛМ40×64		64			25,6		442,37	

Таблица 3.43. **Магнитопроводы типа ПЛМ**

Типоразмер магнитопровода	a, мм	b, мм	c, мм	h, мм	$S_с$, см^2	$S_{ок}$, см^2	$S_с \cdot S_{ок}$, см^4	$l_{ср}$, см
ПЛМ20×32×28				28		5,32	34,048	15,7
ПЛМ20×32×36	20	32	19	36	6,4	6,84	43,776	17,3
ПЛМ20×32×46				46		8,74	55,936	19,3
ПЛМ20×32×58				58		11,02	70,528	21,7
ПЛМ25×40×36				36		8,64	86,4	19,8
ПЛМ25×40×46	25	40	24	46	10	11,04	110,4	21,8
ПЛМ25×40×58				58		13,92	139,2	24,2
ПЛМ25×40×73				73		17,52	175,2	27,2
ПЛМ32×50×46				46		13,80	220,8	25,2
ПЛМ32×50×58	32	50	30	58	16	17,40	278,4	27,7
ПЛМ32×50×73				73		21,90	350,4	30,6
ПЛМ32×50×90				90		27	432	34

Таблица 3.44. **Магнитопроводы типа ПЛ**

Типоразмер магнитопровода	a, мм	b, мм	c, мм	h, мм	S_c, см²	$S_{ок}$, см²	$S_c \cdot S_{ок}$, см⁴	$l_{ср}$, см
ПЛ6,5×12,5×8				8		0,64	0,5203	5,2
ПЛ6,5×12,5×10	6,5	12,5	8	10	0,813	0,8	0,6504	5,6
ПЛ6,5×12,5×12,5				12,5		1	0,813	6,1
ПЛ6,5×12,5×16				16		1,28	1,0406	6,8
ПЛ8×12,5×12,5				12,5		1,25	1,25	7
ПЛ8×12,5×16	8	12,5	10	16	1	1,6	1,6	7,7
ПЛ8×12,5×20				20		2	2	8,5
ПЛ8×12,5×25				25		2,50	2,5	9,5
ПЛ10×12,5×20				20		2,5	3,125	9,6
ПЛ10×12,5×25				25		3,12	3,9	10,6
ПЛ10×12,5×32	10	12,5	12,5	32	1,25	4	5	12
ПЛ10×12,5×40				40		6,25	7,812	13,6
ПЛ12,5×16×25				25		4	8	12,1
ПЛ12,5×16×32	12,5	16	16	32	2	5,12	10,24	13,5
ПЛ12,5×16×40				40		6,4	12,8	15,1
ПЛ12,5×16×50				50		8	16	17,1
ПЛ12,5×25×32				32		6,4	20	14,3
ПЛ12,5×25×40	12,5	25	20	40	3,125	8	25	15,9
ПЛ12,5×25×50				50		10	31,25	17,9
ПЛ12,5×25×60				60		12	37,5	19,9
ПЛ16×32×40				40		10	51,2	14
ПЛ16×32×50				50		12,5	64	20
ПЛ16×32×65	16	32	25	65	5,12	16,25	83,2	23
ПЛ16×32×80				80		20	102,4	26
ПЛ20×40×50				50		16	128	22,6
ПЛ20×40×60				60		19,2	153,6	24,6
ПЛ20×40×80	20	40	32	80	8	25,6	204,8	28,7
ПЛ20×40×100				100		32	256	32,7
ПЛ25×50×65				65		26	325	28,8
ПЛ25×50×80				80		32	400	31,8
ПЛ25×50×100	25	50	40	100	12,5	40	500	35,8
ПЛ25×50×120				120		48	600	39,8
ПЛ32×64×80				80		40	819,2	36
ПЛ32×64×100				100		50	1024	40
ПЛ32×64×130	32	64	50	130	20,48	65	1331,2	46
ПЛ32×64×160				160		80	1638,4	52
ПЛ40×80×100				100		64	2048	45,4
ПЛ40×80×120				120		76,8	2457,6	49,4
ПЛ40×80×160	40	80	64	160	32	102,4	3276,8	57,4
ПЛ40×80×200				200		128	4096	65,4

1000 Гц. В трансформаторах наименьшей стоимости, рассчитанных на заданный перегрев обмоток, применяют магнитопроводы типа ПЛР, а рассчитанных на допустимое падение напряжения в обмотках — типа ШЛР Основные характеристики и размеры магнитопроводов, применяющихся в трансформаторах и дросселях радиоэлектронной аппаратуры, работающей от сети частотой 50 Гц, приведены в табл. 3.42—3 44

Идеальным с точки зрения использования магнитных свойств магнитопровода является тороидальный трансформатор с ленточным кольцевым неразрезным магнитопроводом (рис 3.8). У него минимальный поток рассеяния, малое магнитное сопротивление, высокие удельные массо-объемные характеристики мощности. Основной недостаток — большая трудоемкость и высокая стоимость выполнения на нем обмоток. Несмотря на недостатки из-за своих достоинств и относительно малой высоты сетевые тороидальные трансформаторы питания находят применение в высококачественной бытовой радиоаппаратуре уплощенной конструкции и в измерительной аппаратуре

Наибольшее применение тороидальные трансформаторы с кольцевыми магнитопроводами (сердечниками) из пермаллоевых сплавов, ферритов нашли в схемах статических преобразователей напряжения (инверторов) источников вто-

Таблица 3.45. **Кольцевые ленточные магнитопроводы типа ОЛ**

Обозначение магнитопровода	Площадь сечения магнитопровода S_c, см²	$S_c \cdot S_{ок}$, см⁴	Средняя длина магнитной силовой линии $l_{ср}$, см	Масса магнитопровода G_1, г	Ориентировочная мощность трансформатора, В·А, на частотах	
					50 Гц	400 Гц
ОЛ16/26-6,5	0,325	0,66		14,2	0,48	7
ОЛ16/26-8	0,4	0,8		17,6	0,6	8,8
ОЛ16/26-10	0,5	1	6,6	21,6	0,78	10,1
ОЛ16/26-12,5	0,625	1,26		27,1	0,92	13,6
ОЛ20/32-8	0,48	1,5		25	1,2	16,9
ОЛ20/32-10	0,6	1,88	8,16	32,2	1,4	20,8
ОЛ20/32-12,5	0,75	2,35		40,3	1,8	26
ОЛ20/32-16	0,96	3		52	2,3	33,7
ОЛ25/40-10	0,75	3,67		51,2	2,9	38
ОЛ25/40-12,5	0,94	4,6		64	3,7	47
ОЛ25/40-16	1,2	5,9	10,2	82	4,7	60
ОЛ25/40-20	1,5	7,35		102	5,8	75
ОЛ25/40-25	1,88	9,18		128	7,3	94
ОЛ32/50-16	1,44	11,5		125	9,3	120
ОЛ32/50-20	1,8	14,4		156	11,6	149
ОЛ32/50-25	2,25	18	12,87	194	14,6	187
ОЛ32/50-32	2,88	23		249	18,7	240
ОЛ40/64-20	2,4	30		264	24	278
ОЛ40/64-25	3	38		329	30	364
ОЛ40/64-32	3,84	48	16,33	421	39	444
ОЛ40/64-40	4,8	60		527	49,5	515
ОЛ50/80-25	3,75	74		518	58,5	550
ОЛ50/80-32	4,8	94		663	75	660
ОЛ50/80-40	6	118	20,41	829	93,5	825
ОЛ50/80-50	7,5	148		1035	117	1030
ОЛ64/100-32	5,76	187		1010	148	1300
ОЛ64/100-40	7,2	232		1265	186	1630
ОЛ64/100-50	9	290	25,75	1580	233	2040
ОЛ64/100-64	11,52	370		2020	293	2300
ОЛ80/130-40	10	505		2120	340	2500
ОЛ80/130-50	12,5	630		2670	428	2650
ОЛ80/130-64	16	810	32,97	3420	548	3340
ОЛ80/130-80	20	1010		4250	685	4170

ричного электропитания РЭА, работающих с частотой переключения в десятки и сотни килогерц. Основные конструктивные характеристики ленточных кольцевых магнитопроводов из электротехнической стали по ГОСТ 24011—80 приведены в табл. 3.45. Условное обозначение магнитопровода состоит из букв ОЛ (кольцевой ленточный) и цифр, обозначающих размеры внутреннего и внешнего диаметров и высоты магнитопровода.

Основные конструктивные характеристики кольцевых сердечников из марганцево-цинковых ферритов нетермостабильных марок (ГОСТ 14208—77) и из прессованного альсифера (ГОСТ 8763—77) приведены соответственно в табл. 3.46 и 3.47. В обозначении типоразмера сердечника буква К означает «кольцевой», а цифры — номинальный наружный и внутренний диаметры сердечника и его высоту.

Наряду с кольцевыми сердечниками из ферритов и других магнитомягких магнитодиэлектриков (рис. 3.9, *а, б*) изготавливаются и разъемные Ш-образные (ГОСТ 18614—79) и броневые (ГОСТ 10983—75, и ГОСТ 19197—73) сердечники, применяемые в радиоэлектронной аппаратуре (рис. 3.9, *в, г*) Их основные размеры приведены в табл. 3.48.

Возможно выполнение замкнутых Ш-образных сердечников с зазором. Зазор δ образуется вследствие уменьшения высоты среднего стержня одного или двух Ш-образных сердечников, размер зазора указывается в стандартах и ТУ на изделия конкретных типов (рис. 3.9, *в*).

В радиоэлектронной аппаратуре широко применяются броневые сердечники чашечного типа из ферритов (ГОСТ 19197—73) и карбонильного магнитодиэлектрика (ГОСТ 10983—75), представленные на рис. 3.9, *г*. Сердечник состоит из двух чашек и подстроечного сердечника. У ферритовых броневых сердечников магнитопровод замкнутый, в качестве подстроечных используются следующие типы ферритовых цилиндриче-

Таблица 3.46. **Основные размеры кольцевых сердечников из магнитомягких нетермостабильных (ГОСТ 14208—77) и термостабильных (ГОСТ 17141—76) марганцево-цинковых ферритов**

Типоразмер сердечника D×d×h	Длина магнитной линии l_c, мм	Площадь поперечного сечения S_c, мм²	Площадь окна сердечника, $S_{ок}$, мм²	Масса G, г	Применяемость	
					ГОСТ 14208—77	ГОСТ 17141—76
К4×2,5×1,2	9,84	0,884	4,91	0,06	+	+
К5×2×1,5	9,6	2,10	3,14	0,14	—	+
К5×3×1,5	12,04	1,47	7,07	0,12	+	+
К7×4×1,5	16,41	2,19	12,57	0,24	+	+
К7×4×2	16,41	2,92	12,57	0,32	+	+
К10×6×2	24,07	3,91	28,27	0,59	+	+
К10×6×3	24,07	5,87	28,27	0,86	+	+
К10×6×4,5	24,07	8,81	28,27	1,3	+	+
К12×5×5,5	23,57	18,07	19,63	2,83	+	+
К12×8×3	30,57	5,92	50,27	1,12	+	+
К16×8×6	34,84	23,06	50,27	4,9	+	+
К16×10×4,5	39,37	13,25	78,54	3,1	+	+
К17,5×8,2×5	36,75	22,17	52,81	5,1	+	+
К20×10×5	43,55	24,02	78,54	6,4	+	+
К20×12×6	48,14	23,48	113,09	6,7	+	+
К28×16×9	65,64	52,61	201,06	20	+	+
К31×18,5×7	74,41	42,79	268,8	19	+	+
К32×16×8	69,68	61,5	201,06	26	+	+
К32×16×12	69,68	92,25	201,06	39,5	—	+
К32×20×6	78,75	35,34	314,15	17	+	+
К32×20×9	78,75	53,02	314,15	25	+	+
К38×24×7	94,04	48,15	452,38	27	+	+
К40×25×7,5	98,44	55,23	490,87	32	+	+
К40×25×11	98,44	81,11	490,87	46	+	+
К45×28×8	110,47	66,74	615,75	43	+	+
К45×28×12	110,47	97,83	615,75	62	—	+
К65×40×6	158,62	73,54	1256,6	68	+	—

Таблица 3.47. **Основные размеры и масса кольцевых сердечников из прессованного порошкообразного альсифера (ГОСТ 8763—77)**

Типоразмер сердечника	Длина магнитной линии l_c, мм	Площадь поперечного сечения S_c, мм²	Масса G, г
К15×7×4,8	31,4	16,6	4,5
К15×7×6,7	31,4	23,9	6
К19×11×4,8	44,8	17	6
К19×11×6,7	44,8	24,5	8
К24×13×5,2	54,6	24,6	10
К24×13×7	54,6	32,4	14
К36×25×7,5	93,7	37,6	22
К36×25×9,7	93,7	49,5	28
К44×28×7,2	109	49,7	35
К44×28×10,3	109	74	53
К55×32×8,2	130	78,2	68
К55×32×9,7	130	95	83
К55×32×11,7	130	117	100
К64×40×9,7	157	99,1	97
К64×40×14	157	150	145
К75×46×12	183	148	172
К75×46×16,8	183	216	245

ских сердечников: стержневой (ПС), трубчатый (ПТ), резьбовой (ПР). Карбонильные сердечники типа СБ выполняются с замкнутой и разомкнутой магнитной цепью, первые обозначаются маленькой буквой «а», вторые — буквой «б»; в зависимости от конструкции чашек карбонильные броневые сердечники изготавливаются двух вариантов: первый — с двумя, второй — с четырьмя прорезями для выводов. Основные конструктивные параметры броневых сердечников приведены в табл. 3.49. Обозначение типа сердечника состоит из букв: Б — броневой ферритовый, СБ — броневой карбонильный, число означает приблизительный размер внешнего диаметра сердечника в миллиметрах. Подстроечные сердечники карбонильные выполняются только резьбового типа (от М2 до М8).

Сердечники стержневые и трубчатые из магнитомягких ферритов (кроме подстроечных сердечников и сердечников для антенн радиовещательных приемников) гладкие нешлифованные изготавливаются в соответствии с ГОСТ 19726—79. В обозначении стержневого сердечника (рис. 3.9, *д*) буква С означает стержневой, первое число — номинальное значение его диаметра D, а второе — длину L. В обозначении типоразмера трубчатого сердечника (рис. 3.9, *е*)

Таблица 3.48. **Основные размеры замкнутых Ш-образных сердечников из магнитомягких ферритов (состоят из двух Ш-образных сердечников) по ГОСТ 18614—79**

Типоразмер сердечника	Основные размеры сердечника, мм						Длина магнитной линии l_c, мм	Площадь поперечного сечения S_c, мм²
	a	H	s	l_0	l_1	h		
Ш2,5×2,5	10	5	2,5	2,5	2	3,2	21,5	7,63
Ш3×3	12	6	3	3	2,5	4	26,4	10,5
Ш4×4	16	8	4	4	3,2	5,2	34,5	19,3
Ш5×5	20	10	5	5	4	6,5	43,1	30
Ш6×6	24	12	6	6	5	8	52,9	42,4
Ш7×7	30	15	7	7	6	9,5	62,9	62
Ш8×8	32	16	8	8	7,5	11,5	75,1	69,2
Ш10×10	36	18	10	10	8	13	83,8	100
Ш12×15	42	21	15	12	9	15	96,7	180
Ш16×20	54	27	20	16	11	19	123	321
Ш20×28	65	32,5	28	20	12	22	144	577

Таблица 3.49. **Основные размеры сердечников броневых из карбонильного железа (ГОСТ 10983—75) и феррита (ГОСТ 19197—73)**

Типоразмер	Исполнение	Вариант	D, мм	a, мм	2H, мм	2h, мм	Диаметр и длина подстроечника, мм	Масса, г
СБ-6а	а	1	6,5	1,9	6,4	4	М2×7	1,3
СБ-9а	а	1	9,6	2,9	7,6	4,2	М3×8	2,5
СБ-12а	а	1	12,3	4	11	8,2	М4×11,5	5
СБ-18а	а	2	18	5	14,8	10,4	М5×13,5	16,5
СБ-23-11а	а	2	23	8,5	11,4	6,2	М7×13	20
СБ-23-17а	а	2	23	7	17,4	12	М7×19	30
СБ-28а	а	2	28	9	23,4	17	М8×25	50
СБ-34а	а	2	34	13,5	28,4	20,4	М8×30	81
СБ-6б	б	1	6,5	1,9	6,4	4	М2×7	1,1
СБ-9б	б	1	9,6	2,9	7,6	4,2	М3×8	2,4
СБ-12б	б	1	12,3	4	11	8,2	М4×11,5	4,8
СБ-23б	б	2	23	8,5	11,4	6,2	М7×13	19,7
Б6	а	1	6,65	2,2	5,4	3,6	ПС 0,5×5	—
Б9	а	1	9,3	3,6	5,4	3,6	ПС 0,5×5 0,8×5	—
Б11	а	1	11,3	4,3	6,6	4,4	ПС 0,8×5 1×6	—
Б14	а	1	14,3	5,6	8,5	5,6	ПС 1,8×8 2,2×8	—
Б18	а	1	18,4	7,3	10,7	7,2	ПС 1,8×10 2,2×10	—
Б22	а	1	22	8,5	13,6	9,2	ПС 3,2×11 3,5×13	—
Б26	а	1	26	9,7	16,3	11	ПС 3,9×15 4,5×15	—
Б30	а	1	30,5	11,5	19	13	ПС 4,2×17 4,5×17	—
Б36	а	1	36,2	13,7	22	14,6	ПС 4,5×21	—
Б42	а	1	43,1	17,9	29,9	20,3	ПС 4,5×25	—
Б48	а	1	48,7	19,1	31,8	20,6	ПС 6×25	—

буква Т означает — трубчатый, первое число — номинальное значение внешнего диаметра D, второе — внутренний диаметр d, третье число — длину L. Типоразмеры сердечников приведены в табл. 3.50, 3.51.

Виды обмоток, обмоточные провода и электроизоляционные материалы. По виду размещения обмоток на магнитопроводе электромагнитные компоненты, в первую очередь трансформаторы питания, подразделяются на *броневую конструкцию,* когда обмотки размещаются на среднем стержне Ш-образного магнитопровода (рис. 3.10, *а*), и *стержневую конструкцию,* когда обмотки размещаются на одном или двух стержнях П-об-

Таблица 3.50. **Основные типоразмеры стержневых сердечников из магнитомягких ферритов (ГОСТ 19726—79)**

D, мм	1,2±0,1	$1{,}8^{+0{,}2}_{-0{,}1}$	2,8±0,1	3,2±0,2	3,5±0,2	4,0±0,2	6,3±0,3	8,0±0,3	10,0±0,4
L, мм	10	12	6,3; 8; 10 12; 14; 16 20; 25; 32 40; 45	6,3; 8; 10 12; 14; 16 20	10; 12; 14 16; 20; 25 30; 32; 40 45; 40	10; 12; 14 16; 20; 25 32; 40; 45	10; 12; 14 16; 20; 25 32; 40; 45 50; 63	16; 20; 25 32; 40; 45 50; 63; 71	32; 40; 45 50; 63; 71

Примечание. Сердечники с диаметром 2,7; 3; 4,5 мм в новых разработках применять запрещено.

Таблица 3.51. **Основные типоразмеры трубчатых сердечников из магнитомягких ферритов (ГОСТ 19726—79)**

D, мм	2,5±0,1	2,8±0,1	3,2±0,2	4±0,2	5±0,2	6,3±0,3		8±0,3	10±0,4		16±0,4
d, мм	0,8±0,2	1±0,2	0,8±0,2	1±0,2	1,5±0,2	2±0,2	2,6±0,2	4±0,25		7,1±0,4	8±0,4
L, мм	5; 6,3; 10; 12; 14	4; 5; 6,3; 10; 12; 14	5; 6,3; 10; 12; 14	10; 12 14; 16 20; 25 32	12; 14 16; 20 16; 20 25; 32 25; 32 40	10; 16 20; 25 32; 40 45	20; 25 32; 40 45	10; 16 16; 20 20; 25 25; 32 32; 40 40; 45 45; 50 50; 63 63		12; 16 20; 25 32; 40 50; 63	25 20; 25 32; 40 50; 63

Примечание. Сердечники с внешним диаметром 3,5; 4,2; 6 мм в новых разработках применять запрещено

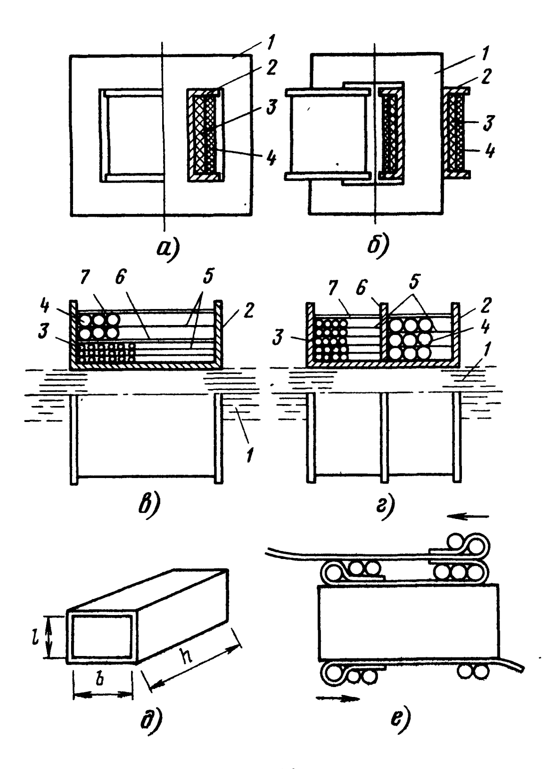


Рис. 3.10

разного магнитопровода (рис. 3.10, *б*). Броневая конструкция трансформатора характеризуется относительно меньшим потоком рассеяния и предпочтительна для маломощных трансформаторов. Наименьшим потоком рассеяния характеризуется трансформатор на кольцевом магнитопроводе или сердечнике. Для улучшения потокосцепления между обмотками их следует распределять равномерно по всей окружности сердечника (даже если число витков в обмотке очень мало). Трансформаторы на кольцевых магнитопроводах (сердечниках) преимущественно применяются в статических преобразователях напряжения источников вторичного электропитания, работающих с частотой преобразования электроэнергии в десятки и сотни килогерц.

Обмотки трансформаторов промышленного изготовления выполняются в основном на литых каркасах из трудновоспламеняемой пластмассы, каркасы трансформаторов старых конструкций выполнялись из электрокартона. Выводы обмоток могут быть выполнены гибкими проводами или специальными контактами, впрессованными в щечки каркаса. Первой на каркасе (ближе всего к магнитопроводу) обычно располагается первичная обмотка 3 (рис. 3.10, *а* — *г*), затем — вторичные 4. Между первичной и вторичной обмотками прокладывается слой межобмоточной изоляции 6 (тонкий электрокартон, лакоткань, стеклолакоткань). Часто между первичной и вторичной обмотками размещается электростатический экран, выполняемый в виде одного слоя намотанной виток к витку обмотки или в виде

одного витка из фольги. Присоединение одного из концов подобной экранирующей обмотки к шасси или общему проводу аппаратуры позволяет значительно ослабить уровень наводок и помех, проникающих через межвитковую и межобмоточную емкости трансформатора из первичной электросети в радиоэлектронную аппаратуру и наоборот. В многовитковых обмотках с относительно высоким рабочим напряжением для предотвращения западания витков верхних слоев в нижние, что приводит к уменьшению пробивного напряжения обмотки, между слоями прокладывают межслоевую изоляцию 5 из трансформаторной или конденсаторной бумаги (рис. 3.10, *а — г*). Обмотки в катушке могут располагаться одна над другой (цилиндрическое расположение, рис. 3.10, *в*) или одна сбоку относительно другой (секционированное расположение, рис. 3.10, *г*). При цилиндрической намотке потокосцепление между обмотками лучше, а поток рассеяния меньше. В последнее время (особенно в зарубежных изделиях) широко применяются секционированные катушки, более оптимальные для автоматизированного производства компонентов и обеспечивающие снижение выхода катушек из строя из-за продавливания изоляции проводов первичной обмотки при намотке вторичной проводом большого диаметра. Сравнительно редко применяется бескаркасная намотка на гильзы (рис. 3.10, *д, е*), в которой витки закрепляются специальной укладкой межслоевой изоляции; подобные обмотки более трудоемки и не имеют особых преимуществ перед каркасными обмотками. В радиолюбительских условиях прочный каркас для имеющегося в наличии магнитопровода проще всего выполнить из шести элементов (рис. 3.11, *а — д*), вырезаемых из гетинакса, текстолита или стеклотекстолита с помощью ножовки и напильника. Обозначения размеров на рис. 3.11 соответствуют рис. 3.6; Δ — толщина электроизоляционного материала, из которого изготовляются детали каркаса.

Ниже приводятся краткие технические характеристики основных *электроизоляционных материалов*, используемых при изготовлении электромагнитных компонентов: межслоевой и межобмоточной изоляции, каркасов, изоляции выводов обмоток, герметизирующих и заливочных материалов. Электроизоляционные материалы должны сохранять свои характеристики в течение всего срока работоспособности изделия. Следует учитывать, что с течением времени свойства многих электроизоляционных материалов ухудшаются: они становятся ломкими, снижается их пробивное напряжение и пр. Этот процесс называется старением, с повышением рабочей температуры он ускоряется.

В соответствии с ГОСТ 8865—70 электроизоляционные материалы для электрических машин, трансформаторов и аппаратов по нагревостойкости подразделяются на семь классов, обозначаемых латинскими буквами: Y — до 90 °С (363 К) — волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка и натурального шелка, не пропитанные специальными электроизоляционными веществами; А — до 105 °С (378 К) — те же материалы, пропитанные; Е — до 120 °С (393 К) — синтетические органические материалы, пленки,

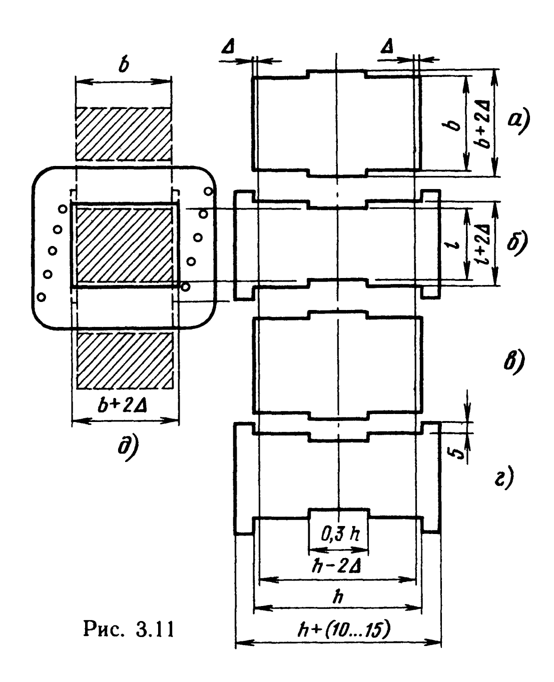


Рис. 3.11

волокна; В — до 130 °С (403 К) — материалы на основе слюды, асбеста, стекловолокна с органическими связующими и пропитывающими составными; F — до 155 °С (428 К) — те же материалы с синтетическими связующими и пропитывающими составами; Н — до 180 °С (453 К) — те же материалы с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами; С — свыше 180 °С (свыше 453 К) — слюда, керамические материалы, фарфор, стекло, кварц, применяемые без связующих составов или с неорганическими и элементоорганическими составами.

Бумага конденсаторная КОН-1 и КОН-2 выпускается толщиной от 4 до 30 мкм и имеет пробивное напряжение 300...600 В. Бумага электроизоляционная трансформаторная выпускается в соответствии с ГОСТ 24874—81.

Электрокартон электроизоляционный марки ЭВ и ЭВТ (ГОСТ 2824—75) выпускается рулонный толщиной 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5 мм и листовой толщиной 1; 1,25; 1,75; 2; 2,5; 3 мм (последний только марки ЭВ). Электрическая прочность рулонного электрокартона в плоском состоянии 10...13 кВ/мм, по линиям перегиба снижается до 8...10 кВ/мм.

Лакоткань электроизоляционная (ГОСТ 2214—78) по нагревостойкости соответствует классу А (до +105 °С). Применяются марки ЛХМ (толщиной 0,15; 0,17; 0,2; 0,24; 0,3 мм), ЛХБ (0,17; 0,2; 0,24 мм), ЛШМ (0,08; 0,1; 0,12; 0,15 мм), ЛШМС (0,04; 0,05; 0,06; 0,1 мм), ЛКМ (0,1; 0,12; 0,15 мм), ЛКМС (0,1; 0,12; 0,15 мм). Буквы в марках означают: Л — лакоткань, Х — хлопчатобумажная, Ш — шелковая, К — капроновая, М — на основе масляного лака, Б — на основе битумно-масляного лака, С — специальная с повышенными диэлектрическими свойствами Пробивное напряжение лако-

ба: толщиной 0,04 мм — 400 В, 0,05 мм — 1200 В, от 0,06 до 0,24 мм — 3...9,2 кВ. После перегиба лакоткани толщиной свыше 0,08 мм пробивное напряжение снижается в 1,5—2 раза. Гарантийный срок хранения лакоткани — 6 месяцев, после этого срока применение лакоткани разрешается только после проведения испытаний на соответствие требованиям стандарта.

Стеклолакоткань электроизоляционная (ГОСТ 10156—78) соответствует классам А, Е, В, F, Н (до +180 °С). Находят применение марки: ЛСМ-105/120 (толщиной 0,15; 0,17; 0,2; 0,24 мм), ЛСЛ-105/120 (0,15; 0,17; 0,2 мм), ЛСЭ-105/130 (0,12; 0,15; 0,17; 0,2; 0,24 мм), ЛСП-130/155 (0,08; 0,1; 0,12; 0,15; 0,17 мм) ЛСК-155/180 (0,05; 0,06; 0,08; 0,1; 0,12; 0,15; 0,17; 0,2 мм), ЛСКЛ-155 (0,12 и 0,15 мм). Буквы и цифры в марках означают: С — стеклянная, Э — на основе эскапонового лака, П — на основе полиэфирно-эпоксидного лака, К — на основе кремнийорганического лака, Л — липкая, остальные — как описано выше. Среднее пробивное напряжение стеклолакоткани до перегиба составляет: толщиной 0,05 мм — 1,5 кВ, 0,06 мм — 2,8 кВ, 0,08 мм — 3,6 кВ, от 0,1 до 0,24 мм — 4,8...10,8 кВ. После перегиба или растяжения стеклолакоткани толщиной свыше 0,08 мм пробивное напряжение снижается в 1,5—2 раза. Гарантийный срок хранения 6 месяцев, по истечении срока применение стеклолакоткани возможно только после того, как испытанием будет установлено соответствие ее параметров требованиям стандарта.

Пленка полиэтилентерефталатная (ГОСТ 24234—80) марки ПЭТ-Э используется при температуре до +155 °С. Пленка выпускается толщиной 6; 8; 10; 12; 15; 20; 25; 35; 50; 70; 100; 125; 175; 190 и 250 мкм. Электрическая прочность пленки при переменном напряжении частотой 50 Гц должна быть не менее: при толщине 6...25 мкм — 180 кВ/мм; 35 и 50 мкм — 140 кВ/мм; 70...125 мкм — 100...120 кВ/мм; 190 и 250 мкм — 80...90 кВ/мм. Гарантийный срок хранения — 12,5 лет. Пленка нетоксична, использование ее в комнатных условиях не требует принятия мер предосторожности. В настоящее время широко применяется в качестве межслоевой и межобмоточной изоляции любых электромагнитных компонентов.

Обмотки трансформаторов и других электромагнитных компонентов бытовой и народнохозяйственной РЭА выполняются обычно медными изолированными обмоточными проводами круглого или прямоугольного сечения. В соответствии с общими техническими условиями на обмоточные провода с эмалевой изоляцией (ГОСТ 26615—85), предназначенные для применения в электрических машинах, аппаратах и приборах, провода эмалированные (ПЭ) подразделяют на классы и обозначают буквами:

по типу эмалевой изоляции: поливинилацеталевая (винифлекс — В, метальвин — М); полиуретановая — У; полиэфирная — Э; полиимидная — И; полиамидимидная — АИ; полиэфиримидная — ЭИ; полиэфирциануратимидная фреоностойкая — Ф;

по форме сечения: круглые (без буквы), прямоугольные — П;

по толщине изоляции: тип 1—1, тип 2 (без цифры);

по конструктивному исполнению изоляции: однослойная — (без буквы), двухслойная — Д, трехслойная — Т, четырехслойная — Ч, с термопластичным покрытием, склеивающимся под воздействием температуры,— К;

по температурному индексу (нагревостойкости) в °С: 105, 120, 130, 155, 180, 200, 220 и выше;

по материалу проволоки: медная — (без буквы), медная безжелезистая — БЖ, медная никелированная — МН, алюминиевая мягкая — А, алюминиевая твердая — АТ;

из сплавов: манганиновая мягкая — ММ, манганиновая твердая — МТ, константановая мягкая — КМ, константановая твердая — КТ, никель-кобальтовая — НК.

Номинальные диаметры круглой проволоки должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 3.52. Значения, отмеченные в таблице скобками, можно применять только в технически обоснованных случаях, значения, отмеченные скобками со звездочкой, в новых разработках применять запрещено. В табл. 3.52 приведены основные характеристики наиболее употребительных медных круглых обмоточных проводов. Повышенная рабочая температура проводов 105...155 °С, допустимая минимальная температура — минус 60 °С. Ресурс работы при максимальной рабочей температуре — 20 000 ч. Зависимость ресурса работы от температуры (на примере провода марки ПЭТ-155): +115 °С — 300 тыс ч, +130 °С — 100 тыс. ч, +140 °С — 50 тыс. ч, +155 °С — 20 тыс. ч, +165 °С — 10 тыс. ч, +200 °С — 1 тыс. ч, +220 °С — 350 ч.

Провода обмоточные с эмалевой изоляцией, разработанные до 1987 г., сохраняют свою прежнюю систему обозначений: провода медные, изолированные лаками на масляной основе,— ПЭЛ; провода медные, изолированные лаком ВЛ-931,— ПЭВ-1, ПЭВ-2; провода медные, изолированные эмалевым лаком на полиэфиримидной основе,— ПЭТ-155; провода медные с эмалево-волокнистой изоляцией — ПЭШО (изолированные одним слоем шелковых нитей), ПЭЛО (изолированные одним слоем полиэфирных нитей), ПЭБО (изолированные одним слоем хлопчатобумажной пряжи).

Пример нового обозначения обмоточного провода с эмалевой изоляцией (в соответствии с ГОСТ 26615—85):

провод ПЭАИ1-200 0,100 — эмалированный провод с медной проволокой круглой и полиамидимидной изоляцией с толщиной изоляции по типу 1, температурным индексом 200 °С и номинальным диаметром проволоки 0,1 мм.

Для выполнения обмоток специального назначения с высоким электрическим сопротивлением используются обмоточные провода с жилой из сплавов с высоким удельным электрическим сопротивлением ρ Для этой цели используются проволоки: манганиновая круглая твердая с $\rho=0{,}48\pm0{,}05$ Ом·мм^2/м и мягкая с $\rho=0{,}47\pm\pm0{,}05$ Ом·мм^2/м; константановая круглая твердая с $\rho=0{,}46...0{,}48$ Ом·мм^2/м и мягкая с

Таблица 3.52. **Провода медные круглого сечения обмоточные эмалевые**

Номинальный диаметр медной проволоки, мм	Площадь поперечного сечения проволоки, мм²	Электрическое сопротивление 1 м проволоки, Ом	Максимальный наружный диаметр проводов, мм, не более: ГОСТ 26615—85		ГОСТ 2773—78 ПЭЛ	ГОСТ 7262—78 ПЭВ-2	ГОСТ 21428—75 ПЭТ-155	ГОСТ 16507—80 ПЭШО	Масса 1 км провода, кг, марки			Минимальное пробивное напряжение, В, для проводов				
			Тип 1	Тип 2					ПЭЛ	ПЭВ-2	ПЭШО	Тип 1	Тип 2	ПЭЛ	ПЭВ-2	ПЭШО
0,02	0,0003141	54,905	0,025	0,027	0,027	—	—	—	0,0031	—	—	60	130	200	—	—
0,025	0,0004908	35,139	0,031	0,034	0,034	—	—	—	0,0048	—	—	60	130	200	—	—
(0,03)	0,0007068	28,23	(0,037)	(0,04)	(0,041)	—	—	—	0,0068	—	—	60	130	300	—	—
0,032	0,0008042	21,445	0,04	0,043	0,043	—	—	—	0,0077	—	—	60	130	300	—	—
(0,035)	0,000953	17,105	(0,044)	(0,047)	—	—	—	—	0,009	—	—	60	130	300	—	—
0,04	0,0012566	13,726	0,05	0,054	0,05	—	—	—	0,0118	—	—	60	130	300	—	—
(0,045)	0,0015821	10,635	(0,056)	(0,061)	—	—	—	—	0,015	—	—	60	130	450	—	—
0,05	0,0019634	8,7848	0,062	0,068	0,062	0,08	—	0,14	0,0182	0,019	0,038	170	300	450	400	350
(0,06)	0,0028274	6,1005	(0,074)	(0,081)	(0,075)	(0,09)	(0,09)	(0,15)	0,0264	0,028	0,046	170	300	450	500	350
0,063	0,0031172	5,5331	0,078	0,085	0,078	0,09	0,09	0,16	0,029	0,029	0,0499	170	300	450	500	350
0,071	0,0039591	4,3563	0,088	0,095	0,086	0,1	0,1	0,16	0,0367	0,039	0,0591	170	300	450	500	350
0,08	0,0050265	3,4316	0,098	0,105	0,095	0,11	0,11	0,17	0,0464	0,05	0,0704	250	500	600	700	400
0,09	0,0063617	2,7113	0,11	0,117	0,105	0,12	0,12	0,18	0,0584	0,063	0,0844	250	500	600	700	400
0,1	0,0078539	2,1962	0,121	0,129	0,120	0,13	0,13	0,19	0,0727	0,076	0,0965	250	500	600	800	450
0,112	0,009852	1,7508	0,134	0,143	0,132	0,14	0,14	0,2	0,0907	0,094	0,118	500	600	600	800	450
(0,12)	0,0113097	1,5252	(0,143)	(0,153)	(0,140)	(0,15)	(0,15)	(0,21)	0,105	0,108	0,133	500	600	800	800	450
0,125	0,0122718	1,4254	0,149	0,159	0,145	0,155	0,155	0,22	0,113	0,117	0,142	500	600	800	800	450
(0,13)	0,0132732	1,2994	(0,155)	(0,165)	(0,15)	(0,16)	(0,16)	(0,22)	0,122	0,131	0,152	500	600	800	800	450
0,14	0,0153938	1,1205	0,166	0,176	0,16	0,17	0,17	0,23	0,141	0,145	0,173	500	600	800	800	500
0,15	0,0176714	0,976	0,176	0,187	(0,17)	(0,19)	(0,19)	0,24	0,162	0,166	0,196	1100	2000	800	900	500
0,16	0,0201061	0,85788	0,187	0,199	0,18	0,2	0,2	0,25	0,185	0,189	0,22	1100	2000	800	900	500
0,17	0,022698	0,75986	0,198	0,21	0,19	(0,21)	(0,21)	0,26	0,208	0,213	0,245	1100	2000	800	1000	500
0,18	0,0254468	0,67783	0,209	0,222	0,2	0,22	0,22	0,27	0,232	0,237	0,271	1100	2000	800	1000	500
0,19	0,0283528	0,60831	0,22	0,234	(0,21)	(0,23)	(0,23)	0,28	0,259	0,264	0,299	1100	2000	850	1000	500
0,2	0,0314159	0,54905	0,23	0,245	0,225	0,24	0,24	0,3	0,287	0,292	0,324	1100	2000	850	1000	550
0,21	0,034636	0,49796	0,243	0,258	(0,235)	(0,25)	(0,26)	0,31	0,316	0,322	0,354	1200	2200	850	1250	550
0,224	0,0394081	0,43772	0,256	0,272	0,249	0,27	0,27	0,33	0,358	0,366	0,399	1200	2200	850	1250	550
0,236	0,0437435	0,39428	0,269	0,285	(0,26)	(0,285)	(0,285)	0,34	0,398	0,406	0,44	1200	2200	850	1250	600
0,25	0,0490873	0,35139	0,284	0,301	0,275	0,3	0,3	0,35	0,446	0,454	0,495	1200	2200	850	1250	600
0,265	0,0551545	0,31271	0,3	0,319	(0,29)	(0,315)	(0,315)	0,39	0,503	0,510	0,55	1200	2200	900	1300	600
0,28	0,0615752	0,28013	0,315	0,334	0,315	0,33	0,33	0,4	0,56	0,568	0,61	1200	2200	900	1300	600
0,3	0,0706858	0,24400	0,337	0,355	(0,335)	(0,35)	(0,35)	0,42	0,645	0,652	0,695	1200	2200	900	1300	600
0,315	0,0779311	0,22132	0,352	0,371	0,352	0,365	0,365	0,44	0,71	0,693	0,762	1200	2200	900	1300	1200
0,335	0,0881413	0,19568	0,374	0,393	(0,372)	(0,385)	(0,385)	0,46	0,809	0,784	0,857	1200	2200	1000	1300	1200
0,355	0,0989797	0,17434	0,395	0,414	0,395	0,415	0,405	0,48	0,899	0,884	0,966	1200	2200	1000	1300	1200
0,38	0,1134114	0,15208	0,421	0,441	(0,42)	(0,44)	(0,44)	0,5	1	1,013	1,1	1200	2200	1000	1300	1200
0,4	0,1256637	0,13726	0,442	0,462	0,442	0,46	0,46	0,52	1,14	1,15	1,21	1200	2200	1000	1300	1200
0,425	0,1418625	0,12158	0,469	0,489	(0,47)	(0,485)	(0,49)	0,55	1,29	1,3	1,36	2000	3500	1100	1400	1200

Окончание табл. 3,52

Номинальный диаметр медной проволоки, мм	Площадь поперечного сечения проволоки, мм²	Электрическое сопротивление 1 м проволоки, Ом	Максимальный наружный диаметр проводов, мм, не более: ГОСТ 26615—85 Тип 1	ГОСТ 26615—85 Тип 2	ГОСТ 2773—78 ПЭЛ	ГОСТ 7262—78 ПЭВ-2	ГОСТ 21428—75 ПЭТ-155	ГОСТ 16507—80 ПЭШО	Масса 1 км провода, кг, марки: ПЭЛ	ПЭВ-2	ПЭШО	Минимальное пробивное напряжение, В, для проводов: Тип 1	Тип 2	ПЭЛ	ПЭВ-2	ПЭШО
0,45	0,1590431	0,10845	0,495	0,516	0,495	0,51	0,52	0,59	1,44	1,45	1,53	2000	3500	1100	1400	1250
0,475	0,1772054	0,097329	0,521	0,543	(0,525)	(0,545)	(0,545)	0,61	1,61	1,65	1,7	2000	3500	1100	1400	1250
0,5	0,1963495	0,087848	0,548	0,569	0,548	0,57	0,57	0,63	1,78	1,79	1,87	2000	3500	1100	1400	1250
0,53	0,2206183	0,078177	0,579	0,601	(0,578)	(0,6)	(0,6)	0,66	2	2,01	2,1	2000	3500	1300	1500	1250
0,56	0,2463008	0,070032	0,611	0,632	0,61	0,63	0,63	0,69	2,23	2,25	2,33	2300	4000	1300	1500	1250
0,6	0,2827433	0,061000	0,653	0,676	(0,65)	(0,67)	(0,67)	0,73	2,56	2,58	2,67	2300	4000	1300	1500	1250
0,63	0,3117245	0,055328	0,684	0,706	0,68	0,7	0,71	0,76	2,82	2,85	2,93	2300	4000	1300	1500	1250
0,67	0,3525652	0,048919	0,726	0,749	(0,72)	(0,75)	(0,75)	0,8	3,18	3,22	3,3	2300	4000	1300	1500	1250
(0,69)*	0,3739280	0,046125	(0,747)*	(0,770)*	(0,74)*	(0,77)*	(0,77)	(0,82)	3,37	3,42	3,5	2300	4000	1300	1500	1250
0,71	0,3959191	0,043566	0,767	0,79	0,77	0,79	0,79	0,85	3,59	3,61	3,7	2300	4000	1300	1500	1250
0,75	0,4417864	0,039044	0,809	0,832	0,81	0,84	0,83	0,9	4	4,03	4,13	2300	4000	1400	1600	1300
(0,77)*	0,4656625	0,037038	(0,83)*	(0,854)*	(0,83)*	(0,86)*	(0,85)	(0,92)	4,21	4,25	4,35	2300	4000	1400	1600	1300
0,8	0,5026548	0,034316	0,861	0,885	0,86	0,89	0,89	0,95	4,54	4,57	4,68	2300	4000	1400	1600	1300
(0,83)*	0,5410607	0,031877	(0,892)*	(0,916)*	(0,890)*	(0,92)*	(0,92)	(0,98)	4,89	4,91	5,03	2300	4000	1400	1600	1300
0,85	0,5674501	0,030398	0,913	0,937	0,91	0,94	0,94	1	5,12	5,15	5,27	2500	4400	1500	1600	1300
0,9	0,6361724	0,027113	0,965	0,99	0,96	0,99	0,99	1,05	5,74	5,78	5,9	2500	4400	1500	1800	1300
(0,93)*	0,6792908	0,02539	(0,996)*	(1,020)*	(0,99)*	(1,02)*	(1,02)	(1,08)	6,13	6,17	6,29	2500	4400	1500	1800	1300
0,95	0,7088218	0,024335	1,017	1,041	1,02	1,04	1,04	1,1	6,39	6,43	6,55	2500	4400	1500	1800	1300
1	0,7853981	0,021962	1,068	1,093	1,07	1,1	1,09	1,16	7,09	7,14	7,27	2500	4400	1500	1800	1500
1,06	0,8824733	0,019546	1,13	1,155	1,14	1,16	1,16	1,22	7,96	8,02	8,15	2500	4400	1600	1800	1500
(1,08)*	0,9160884	0,018823	(1,151)*	(1,176)*	(1,16)*	(1,18)*	(1,18)	(1,24)	8,26	8,33	8,45	2500	4400	1600	1800	1500
1,12	0,9852034	0,017508	1,192	1,217	1,2	1,22	1,22	1,28	8,89	8,94	9,08	2500	4400	1600	1800	1500
1,18	1,0935883	0,015773	1,254	1,279	1,26	1,28	1,28	1,34	9,85	9,91	10,1	2500	4400	1600	1900	1500
1,25	1,2271845	0,014056	1,325	1,351	1,33	1,35	1,35	1,41	11	11,1	11,3	2500	4400	1600	1900	1500
1,32	1,3684777	0,012605	1,397	1,423	1,4	1,42	1,42	1,48	12,3	12,41	12,5	2500	4400	1600	1900	1500
1,4	1,5393803	0,011205	1,479	1,506	1,48	1,51	1,51	1,56	13,9	13,92	13,1	3000	5300	1700	2000	1500
(1,45)*	1,6512995	0,010445	(1,53)*	(1,557)*	(1,530)*	(1,560)*	(1,56)	(1,61)	14,9	14,91	15,1	3000	5300	1700	2000	1500
1,5	1,7671458	0,0097607	1,581	1,608	1,58	1,61	1,61	1,68	15,9	15,94	16,2	3000	5300	1700	2000	1700
(1,56)*	1,9113449	0,009023	(1,642)*	(1,67)*	(1,64)*	(1,67)*	(1,67)	(1,74)	17,2	17,2	17,5	3000	5300	1700	2000	1700
1,6	2,0106192	0,0085788	1,683	1,711	1,68	1,71	1,71	—	18,1	18,1	—	3000	5300	1700	2000	—
1,7	2,2698006	0,0075994	1,785	1,813	1,78	1,81	1,81	—	20,4	20,4	—	3000	5300	1800	2100	—
1,8	2,5446897	0,0067783	1,888	1,916	1,89	1,92	1,92	—	22,8	22,9	—	3000	5300	1800	2100	—
1,9	2,8352872	0,0060837	1,99	2,018	1,99	2,02	2,02	—	25,4	25,5	—	3000	5300	1800	2100	—
2	3,145925	0,0054905	2,092	2,12	2,1	2,12	2,12	—	28,2	28,2	—	3000	5300	1800	2300	—
2,12	3,5298932	0,0048863	2,214	2,243	2,22	2,24	2,24	—	31,6	31,8	—	3000	5300	1800	2300	—
2,24	3,9408135	0,0043772	2,336	2,366	2,34	2,37	2,37	—	35,3	35,4	—	3000	5300	1800	2300	—
2,36	4,3743535	0,0042999	2,459	2,488	2,46	2,49	2,49	—	39,2	39,3	—	3000	5300	1800	2300	—
(2,44)*	4,6759462	0,003689	(2,54)*	(2,57)*	(2,54)*	(2,57)*	(2,57)	—	41,9	42	—	3000	5300	1800	2300	—
2,5	4,9087382	0,0035139	2,601	2,631	2,6	2,63	2,63	—	43,9	44,1	—	3000	5300	1800	2300	—

Таблица 3.53. **Проволока с высоким электрическим сопротивлением**

Диаметр проволоки, мм	Константан		Манганин	
	Сопротивление 1 м проволоки, Ом	Длина проволоки на 1 Ом, см	Сопротивление 1 м проволоки, Ом	Длина проволоки на 1 Ом, см
0,05	255	0,39	219	0,46
0,06	177	0,57	152	0,66
0,07	130	0,77	112	0,89
0,08	99,5	1,01	85,5	1,17
0,09	78,5	1,27	67,6	1,48
0,1	63,7	1,58	54,7	1,83
0,11	52,7	1,9	45,3	2,21
0,12	44,2	2,27	38	2,53
0,13	37,6	2,56	32,4	3,09
0,14	32,5	3,08	27,9	3,59
0,15	28,3	3,16	24,3	4,12
0,16	24,9	4,02	21,4	4,67
0,17	22	4,55	18,9	5,3
0,18	19,7	5,08	16,9	5,92
0,19	17,6	5,7	15,2	6,58
0,2	15,9	6,3	13,7	7,3
0,21	14,4	6,95	12,4	8,06
0,22	13,1	7,65	11,3	8,85
0,23	12	8,35	10,3	9,81
0,24	11	9,1	9,5	10,5
0,25	10,2	9,82	8,74	11,4
0,26	9,4	10,6	8,1	12,4
0,27	8,72	11,5	7,5	13,3
0,28	8,1	12,4	6,98	14,3
0,29	7,58	12,7	6,5	15,4
0,3	7,07	14,2	6,08	16,4
0,35	5,2	19,3	4,46	22,4
0,4	3,98	25,2	4,42	29,2
0,45	3,15	31,8	2,7	37
0,5	2,55	39,2	2,19	45,6
0,55	2,1	47,6	1,81	55,3
0,6	1,77	56,8	1,52	65,8
0,7	1,3	77	1,12	89,4
0,8	0,995	101	0,855	117
0,9	0,786	127	0,676	148
1	0,637	158	0,547	183

$\rho=0,45...0,46$ Ом·мм^2/м; нихромовая круглая мягкая с $\rho=1,08\pm0,05$ Ом·мм^2/м. Для ориентировочного выбора необходимой длины обмоточного провода следует пользоваться табл. 3.53.

3.5. ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНЫЕ И МАЛОМОЩНЫЕ ГЕНЕРАТОРНЫЕ ЛАМПЫ

Система обозначений и конструктивные виды приемно-усилительных ламп

Система обозначений приемно-усилительных ламп состоит из четырех элементов:

1-й элемент обозначения — число, указывающее округленно напряжение накала в вольтах. Номинальное напряжение накала $U_н$ у ламп с цифрой 1 в начале обозначения равно 1,2 В, у ламп с цифрой 2 — 2,2 В, у ламп с обозначением, начинающимся с цифры 6 — 6,3 В и с числа 12 — 12,6 В.

2-й элемент обозначения — буква, указывающая тип лампы: Д — диод; Х — двойной диод; С — триод; Э — тетрод; П — выходной пентод или лучевой тетрод; К — высокочастотный пентод переменной крутизны; Ж — высокочастотный пентод; А — частотно-преобразовательная лампа с двумя управляющими сетками (кроме пентода); В — лампа со вторичной эмиссией; Н — двойной триод, Г — диод-триод, Б — диод-пентод, Ф — триод-пентод, И — триод-гексод, триод-гептод, триод-октод, Л — лампа со сфокусированным лучом, Е — электронно-лучевой индикатор, Р — двойной тетрод или пентод, Ц — кенотрон.

3-й элемент обозначения — число, указывающее порядковый номер данного типа прибора.

4-й элемент обозначения — буква, указывающая конструктивный вид приемно-усилительных ламп: С — в стеклянном баллоне, ∅ 22,5 мм; К — в керамической оболочке; П — стеклянная миниатюрная (пальчиковая), ∅ 19...22,5 мм; Г — стеклянная сверхминиатюрная, ∅ 10,2 мм; Б — стеклянная сверхминиатюрная, ∅ 10,2 мм; А — стеклянная сверхминиатюрная, ∅ до 8 мм; Р — стеклянная сверхминиатюрная, ∅ до 5 мм; Л — с замком в ключе цоколя; Д — с дисковыми впаями («маячковая», «карандашная»); Н — металлокерамическая, нувистор.

Лампы, отличающиеся повышенной надежностью и механической прочностью, имеют в конце обозначения букву В, лампы с долговечностью 10 000 ч и более — Д, с долговечностью 5000 ч и более — Е, лампы для работы в импульсном режиме — И. Маломощные кенотроны и диоды также принято относить к числу приемно-усилительных ламп.

В табл. 3.54 приняты следующие сокращенные обозначения электродов приемно-усилительных ламп: а — анод; к — катод; л — лучеобразующие пластины лучевого тетрода; н — нить накала, подогреватель в лампе с катодом косвенного накала; с — сетка; э — экран внутри баллона; ф — флуоресцирующий экран; х — штырек отсутствует; «—» — с данным штырьком электрод не соединен.

Для ламп, объединяющих два диода или триода, а также для многосеточных ламп к буквам а, к, с добавляется цифра, указывающая порядковый номер электрода, например: к2 — катод второго триода; с2 (для двойного триода) — сетка второго триода, с2 (для пентода и тетрода) — вторая (экранирующая) сетка. Для комбинированных ламп к буквам а, к, с добавляется вторая буква; г — гептод; п — пентод; т — триод, д — диод (например, аг — анод гептода в триод-гептоде, сп1 — управляющая сетка пентодной части триод-пентода).

Схемы расположения штырьков приемно-усилительных ламп широкого применения приведены на рис. 3.12, 3.13.

Таблица 3.54. **Приемно-усилительные лампы широкого применения**

Тип	Схема расположения штырьков (рис. 3.12, 3.13)	Порядок соединения электродов со штырьками								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9, (10), [11], {12}
1А2П	РШ4	н, к, с5 с5	а	с2, с4	с1	н, к 5с	с3	н, к	х	х
1К2П	РШ4	н, к	а	с2	—	к, с3	с1	н, к	х	х
1Ц11П[1]	РШ4	н	—	—	н	н, к	—	н, к	х	х
1Ц21П[1]	РШ8	н, к	н	—	н, к	н	н, к	—	н	н, к
3Ц16С[1]	РШ5-1	н, к	н	н, к	—	н, к	н	н, к	—	х
3Ц18П[1]	РШ4	н, к	—	—	н, к	н	—	н, к	х	х
3Ц22С	РШ24	н, к	—	н	н, к	н	н, к	—	н	н, к
6А2П	РШ4	с1	к, с5	н	н	а	с2, с4	с3	х	х
6А4П	РШ8	с4	с1	к, с5	н	н	а1	а2	с2	с3
6В1П	РШ8	а	с3	с2	н	н	к	с1	к	д
6В2П	РШ8	а	—	с2	н	н	к, э	с1	к, э	д
6В3С	РШ8	а	д1	с2	н	н	к	с1	э	д2
6Д10Д		Оформление стеклянное с дисковым выводом катода								
6Д14П[2]	РШ8	—	а	—	н	н	—	а	—	а
6Д15Д		Оформление металлостеклянное с дисковым выводом катода								
6Д16Д		Оформление металлостеклянное с цилиндрическими выводами анода и катода								
6Д20П[2]	РШ8	—	а	—	н	н	—	а	—	а
6Д22С[2]	РШ24	а	—	а	н	н	а	—	а	—
6Д24Н		Оформление металлокерамическое с жесткими выводами анода и катода								
6Е1П	РШ8	с, т	к	ф	н	н	—	а	ф	ф
6Е2П	РШ8	а1	с3	а2	н	н	с2	к	с1	ф
6Е3П	РШ8	с	э	к, ф	н	н	э	с4	э	а
6Ж2П	РШ4	с1	к, э	н	н	а	с2	с3	х	х
6Ж5П	РШ4	с1	л	н	н	а	с2	к	х	х
6Ж9П	РШ8	к	с1	к	н	н	—	а	с3, э	с2
6Ж10П	РШ8	к	с1	к	н	н	—	а	с3, э	с2
6Ж11П	РШ8	к	с1	к	н	н	—	а	с3, э	с2
6Ж23П	РШ8	к	с1	к	н	н	а1	с3, э	а2	с2
6Ж32П	РШ8	с2	э	к	н	н	а	э	с3	с1
6Ж33А	Без цоколя	с2	н	а	н	х	к, с3	с1	х	х
6Ж38П	РШ4	с1	к, с3, э	м	н	а	с2	к, с3, э	х	х
6Ж40П	РШ4	с1	к	м	н	а	с2	с3	х	х
6Ж43П	РШ8	к	с1	к	н	н	а1	с3, э	а2	с2
6Ж49П-Д	РШ8	к	с1	к	н	н	—	а	с3, э	с2
6Ж50П	РШ8	к	с1	к	н	н	—	а	с3	с2
6Ж51П	РШ8	к	с1	к	н	н	э	а	с2	с3
6Ж52П	РШ8	к	с1	к	н	н	—	а	с3	с2
6Ж53П	РШ4	с1	к, с3	н	н	а	с2	к	х	х
6И1П	РШ8	с2, с4	с1	к, с5, э	н	н	аг	с3	ат	ст
6И4П	РШ25	кг, э, с5	сг3	сг1	с, г	н	н	аг	ст	кт (ат)
6К1Б	Без цоколя	а	с2	н	н	с3	к	с1	х	ххх
6К1П	РШ4	с1	к	н	н	а	с2	к, с3	х	х
6К4П	РШ4	с1	с3, э	н	н	а	с2	к, с3, э	х	х
6К6А	Без цоколя	с2	н	а	н	х	к, с3	с1	х	х
6К8П	РШ4	с1	к	н	н	а	с2	с3	х	х
6К13П	РШ8	к	с1	к	н	н	э	в	с2	с3
6К14Б	Без цоколя	к, с3	х	а	н	х	с2	х	нс1	хх
6К15Б-В	»	с1	х	н	к, с3	х	с2	н	а	ххх
6К16Б-В	»	с1	х	н	к, с3	х	с2	н	а	ххх
6Н1П	РШ8	а1	с1	к1	н	н	а2	с2	к2	э
6Н2П	РШ8	а1	с1	к1	н	н	а2	с2	к2	э
6Н3П	РШ8	н	к1	с1	а1	э	а2	с2	к2	н
6Н14П	РШ8	к1	с1	а1	н	н	с2	к2	к2	а2
6Н15П	РШ4	а2	а1	н	н	с1	с2	к	х	х

Продолжение табл. 3.54

Тип	Схема расположения штырьков (рис 3 12, 3 13)	Порядок соединения электродов со штырьками								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9, (10), [11], {12}
6Н16Б	Без цоколя	а2	к1	с1	н	а1	к2	с2	н	х
6Н17Б	»	а2	к1	с1	н	а1	к2	с2	н	х
6Н18Б	»	а2	к1	с1	н	а1	к2	с2	н	х
6Н19П	РШ8	н	ск1	с21	а1	к	а2	с22	ск2	н
6Н21Б	Без цоколя	к1	э	с1	а1	н	к2	—	с2	а2, (н)
6Н23П	РШ8	а1	с2	к2	н	н	а1	с1	к1	э
6Н24П	РШ8	к2	с2, э	а2	н	н	с1	к1	э1	
6Н27П	РШ8	а2	с2	к2	н	н	а2	с2	к2	э
6Н31П	РШ8	а2	с2	к2	н	н	а1	с1	к1	э
6П1П	РШ8	а	с2	к, л	н	н	а	с1	к, л	с2
6П13С[1]	РШ5-1	х	н	к, л	х	с1	х	н	с2	х
6П14П	РШ8	—	с1	к, с3	н	н	—	а	—	с2
6П15П	РШ8	с3, э	с1	к	н	н	с3, э	а	—	с2
6П18П	РШ8	—	с1	к, с3	н	н	—	а	—	с2
6П20С[1]	РШ5-1	с2	н	к, л	с1	с2	к, л	н	с2	х
6П21С[1]	РШ5-1	л[4]	к, н	с2	л[4]	с1	л[4]	к, н	х	х
6П23П[1]	РШ8	л[4]	с2	л[4]	к, н	к, н	л[4]	с1	с2	л[4]
6П21Б	Без цоколя	с1	х	н	к, с3	а	н	с2	х	хххх
6П27С	РШ5-1	х	н	а	с2	с1	х	н	к, л	х
6П30Б	Без цоколя	к	н	с2	а	х	н	с1	с3х	ххх
6П31С[1]	РШ5-1	х	н	х	с2	с1	х	н	к, л	х
6П33П	РШ8	с1	с1	к, с3	н	н	с2	а	—	с2
6П36С[1]	РШ24	с1	с1	к, л	н	н	с2	с2	к, л	—
6П37Н-В	Рис.3.13	с2	с2	с2	с1	с1	с1	к	кн	(н) х
6П38П	РШ8	к	с1	к	н	н	—	а	с3	с2
6П39С	РШ24	а	с3	с2	н	н	с3	к	с1	к
6П41С	РШ24	с2	с1	к, эл	н	н	с1	с2	—	а
6П42С[1]	РШ24	с1	с2	к, л	н	с2	—	с2	к, л	—
6П43П-Е	РШ8	—	с1	к, с3	н	н	—	а	—	с2
6П44С[1]	РШ24	с1	с1	к, лэ	н	н	с2	с2	к, лэ	—
6П45С[1]	РШ24	с1	л	с2	н	н	с2	л	с1	к
6Р3С-1[1]	РШ6	с11	с2	к, л	н	с12	н	к	н	х
6Р4П	РШ25	с12	к, с32	с22	а2	н	н	к, с31	с11	с21, (а1)
6Р5П	РШ8	с21	с11	а1	н	н	с12	к, э	а2	с22
6С3Б	Без цоколя	а	н	н	с	к	х	х	х	х
6С3П	РШ8	—	с	к	н	н	к	к	к	а
6С4П	РШ8	с	с	к	н	н	к	с	с	а
6С6Б	Без цоколя	а	н	н	с	к	—	—	—	—
6С7Б	»	а	н	н	с	к	х	х	х	х
6С15П	РШ8	к	с	к	н	н	к	а	с	к
6С19П	РШ8	а	с	а	н	н	а	с	а	к
6С13Д	Оформление стеклянное с дисковыми выводами катода и сетки									
6С170-К	Оформление металлокерамическое с цилиндрическими выводами									
6С28Б	Без цоколя	а	к	х	н	с	к	х	н	—
6С29Б	»	а	х	с	н	с	к	с	н	—
6С31Б	»	к	н	х	х	а	х	н	с	х (х)
6С32Б	»	к	х	с	х	н	к	а	х	х (х)
6С34А	»	к	х	с	х	н	а	н	х	—
6С35А	»	к	х	с	х	н	а	н	х	—
6С36К	Оформление металлическое с дисковыми выводами сетки и цилиндрическими выводами анода, катода и подогревателя									
6С40П[1]	РШ8	к, э	—	—	н	н	к, э	—	—	с
6С44Д	Оформление стеклометаллическое с цилиндрическим выводом анода и катода и дисковым выводом сетки									

Окончание табл. 3.54

Тип	Схема расположения штырьков (рис 3 12, 3 13)	Порядок соединения электродов со штырьками								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9, (10), [11], {12}
6С50Д	Оформление стеклометаллическое с цилиндрическими выводами анода и катода и дисковыми выводами сетки									
6С51Н	РШ39	х	а	х	с	х	х	х	к	х, н (х), [н]
6С52Н	РШ39	х	а	х	с	х	х	х	к	х, н, (х) [н]
6С53Н	РШ39	н	н	х	х	х	х	х	х	х, (х), [х],{х}
6С56П	РШ8	а	с	а	н	н	а	с	а	к
6С58П	РШ8	к	с	к	н	н	х	а	х	х
6С59П	РШ8	с	с	к	н	н	х	с	с	а
6С62Н	РШ39	х	а	х	с	х	х	х	к	х, (н), [х], {н}
РФ1П	РШ8	ат	сп1	сп2	н	н	ап	к, сп3	кт	ст
6Ф3П	РШ8	ст	кп, л	сп1	н	н	ап	сп2	кт	ат
6Ф4П	РШ8	ст	ат	кт	н	н	ап	кп, э, сп3	сп1	сп2
6Ф5П	РШ8	ат	ст	кт	н	н	ап	сп2	кп, э	сп1
РФ12П	РШ8	ст	кт	ап	н	н	сп1	кп, э	сп2	ат
6Ц10П[2]	РШ8	—	а	—	н	н	—	а	—	—
6Ц17С	РШ5-1	а	—	к	—	а	—	н	н	х
6Ц19П[2]	РШ8	—	а	—	н	н	—	а	—	—
6Э5П	РШ8	н	а	—	к	с2	н	—	с1	к
6Э6П-Е	РШ8	к	с1	к	н	н	к	а	—	с2
6Э12Н[1]	РШ39	х	с2	х	с1	х	х	х	к	х, (н), [х], {н}
6Э13Н[1]	РШ39	х	с2	х	с1	х	х	х	к	х, (н), [х], {н}
6Э14Н	РШ39	х	с2	х	с1	х	х	х	к	х, (н) [х], {н}
9Ф8П	РШ8	ат	сп1	сп2	н	н	ап	кп, сп3	кт	ст
15Ф4П	РШ8	ст	ат	кт	н	н	ап	кп, э с3	сп1	сп2
16Ф3П	РШ8	ст	кп, л	сп1	н	н	ап	с2	кт	ат
18Ф5П	РШ8	ат	ст	кт	н	н	ап	сп2	кп, э	сп1

[1] Анод выведен к колпачку на баллоне
[2] Катод выведен к колпачку на баллоне
[3] Индикаторная метка
[4] Лучеобразующие пластины соединены со средней точкой нити накала

Максимально допустимые эксплуатационные значения параметров ламп

Максимально допустимые эксплуатационные значения параметров ламп определяют электрические и тепловые режимы их работы, превышение которых может привести к необратимому изменению параметров ламп и быстрому выходу ламп из строя вследствие потери эмиссии катода, перегорания подогревателя (нити накала), межэлектродного электрического пробоя или перегрева электродов, в первую очередь анода и экранирующей сетки. Кроме того, если лампы работают при максимально допустимых напряжениях и токах, понижается долговечность аппаратуры, особенно при таких режимах, когда два (или более) параметра достигают своего максимально допустимого значения.

Основные параметры: $I_{a\,max}$, $I_{к\,max}$ — максимально допустимый анодный или катодный ток Для ламп, предназначенных для работы в импульсном режиме (например, в генераторах строчной развертки телевизоров), помимо среднего допустимого тока катода (постоянная составляющая) указывается его максимальное импульсное значение; $U_{a\,max}$ — максимально допустимое постоянное напряжение на аноде, $P_{a\,max}$, $P_{c2\,max}$ — максимально допустимая мощность, выделяемая на аноде и на экранирующей сетке, R_c — максимально допустимое сопротивление в цепи управляющей сетки (указывается для отдельных типов ламп).

Максимально допустимый анодный ток диода в импульсе ограничивается эмиссией катода,

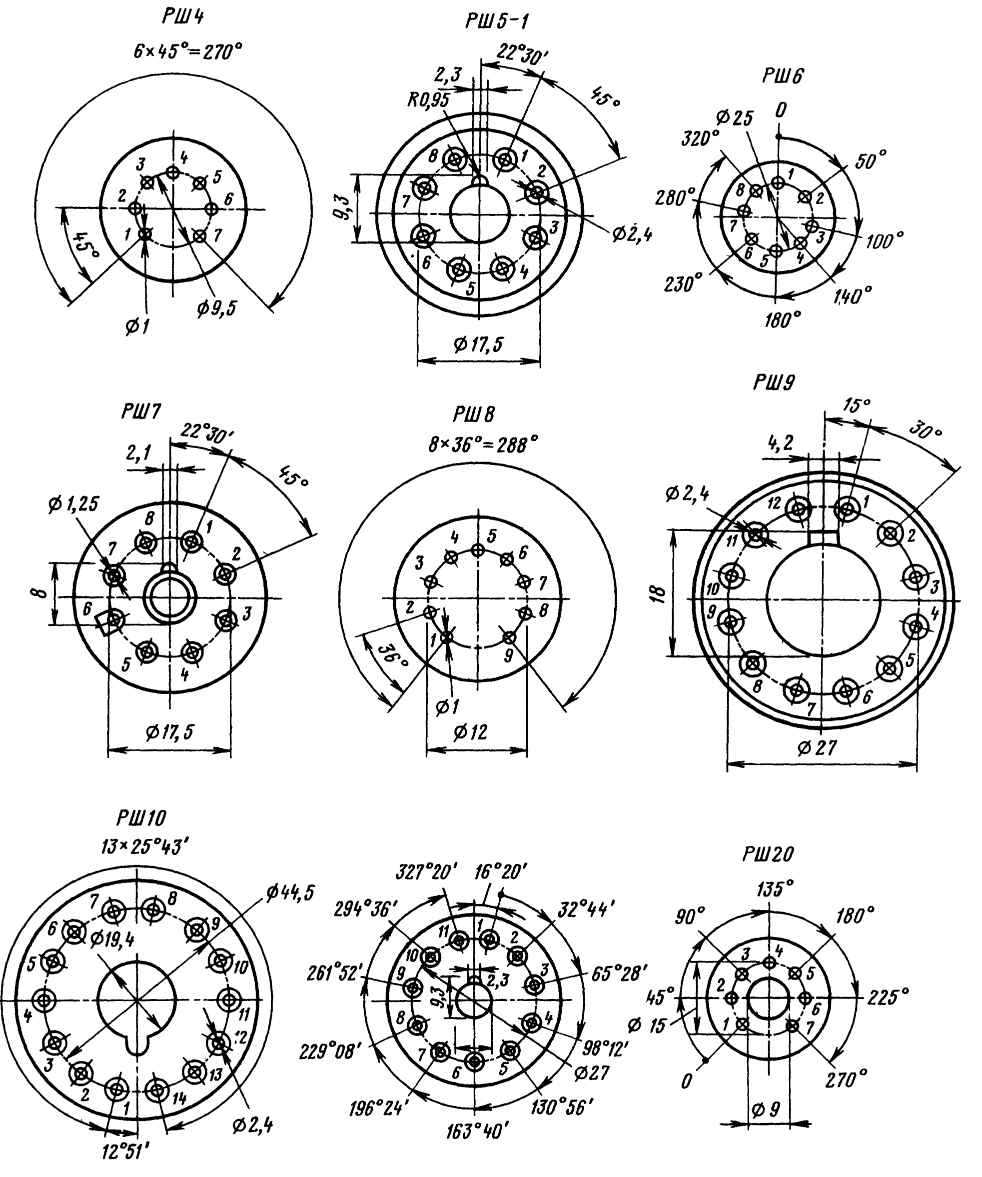


Рис. 3.12

Таблица 3.55. **Диоды**

Тип	$U_н$, В	$I_н$, А	$U_{обр, и, max}$, В	$I_{вп\ ср\ max}$, мА	$I_{вп\ и\ max}$, мА	$C_{а\ к}$, пФ, не более	D, мм, не более	h, мм, не более
Диоды с одним анодом								
6Д10Д	6,3	0,75	100	10	30	3,5	20	40
6Д16Д	6,3	0,24	450	—	2000*	2	7,5	31
6Д15Д	6,3	0,33	200	8	750*	1,5	20	36

Окончание табл. 3.55

Тип	$U_и$, В	$I_и$, А	$U_{обр\ и,\ max}$, В*	$I_{вп\ ср\ max}$, мА	$I_{вп\ и\ max}$, мА	$C_{а\ к}$, пФ, не более	D, мм, не более	h, мм, не более
				Демпферные диоды				
6Д14П	6,3	1,1	5600	150	600	10	22,5	75
6Д20П	6,3	1,8	6500	220	600	8,5	22,5	90
6Д22С	6,3	1,9	6000	300	1000	13,5	30	100
6Ц10П	6,3	1,05	4500	120	450	4,5	22,5	75
6Ц17С	6,3	1,8	4500	215	1200	11	33	100
6Ц19П	6,3	1,1	4500	120	450	8	22,5	75

* В импульсе

Таблица 3.56. **Кенотроны с одним анодом***

Тип	$U_и$, В	$I_и$, А	R_i, Ом	$U_{обр\ ,и\ max}$, кВ	$I_{вп\ max}$, мА	$I_{вп\ ср\ max}$, мА	D, мм, не более	h, мм, не более
1Ц11П	1,2	0,2	20 000	20	2	0,3	19	60
1Ц21П	1,4	0,69	—	25	40	0,6	22,5	80
3Ц16С	3,15	0,21	—	35	80	1,1	33	105
3Ц18П	3,15	0,21	15 000	25	15	1,5	19	65
3Ц22С	3,15	0,4	—	36	—	2	30	90

* Лампы для преобразования импульсного напряжения обратного хода строчной развертки телевизоров в постоянное высокое анодное напряжение кинескопов

при которой перегрев анода током лампы не опасен (табл. 3.55 и 3.56). $I_{вп\ max}$ — максимально допустимый выпрямленный ток диода ограничивается мощностью потерь на аноде или эмиссией катода; $U_{обр,\ и,\ max}$ — максимально допустимое импульсное обратное напряжение диода — наибольшее напряжение на аноде во время отрицательной полуволны подводимого напряжения, при котором не возникает пробоя внутри диода или между штырьками его цоколя.

Основные параметры ламп с управляющими сетками

Электрические параметры приемно-усилительных ламп с сетками и некоторых маломощных генераторных ламп, соответствующие номинальным режимам их работы, указаны в табл. 3.57—3.61. Номинальное напряжение накала ламп $U_н$ с цифрой 1 в начале обозначения равно 1,2 В; ламп с цифрой 2 — 2,2 В, ламп с обозначением, начинающимся с цифры 6 — 6,3 В и с числа 12 — 12,6 В.

Крутизна характеристики S показывает, на сколько миллиампер изменится анодный ток $I_а$ при изменении напряжения управляющей сетки U_{c1} на 1 В при неизменных напряжениях на остальных электродах лампы.

Внутреннее сопротивление R_i (сопротивление лампы переменному току) — отношение приращения анодного напряжения к вызываемому им приращению анодного тока при неизменных напряжениях на остальных электродах лампы.

Коэффициент усиления μ показывает, на сколько вольт нужно изменить анодное напряжение, чтобы при изменении напряжения на управляющей сетке на 1 В анодный ток остался неизменным.

Крутизна преобразования $S_{пр}$ — параметр частотно-преобразовательных ламп — отношение переменной составляющей анодного тока ПЧ к переменному напряжению на сигнальной сетке при заданном напряжении на гетеродинной сетке и неизменных напряжениях на остальных электродах. Обычно $S_{пр} = (0,25...0,35)$ S; она возрастает в некоторых пределах при увеличении напряжения гетеродина.

Входная емкость $C_{вх}$ — емкость управляющей сетки по отношению к электродам, на которых в рабочем режиме лампы нет переменных потенциалов частоты напряжения, приложенного к цепи управляющей сетки. Для триода $C_{вх}$ — емкость между сеткой и катодом; для пентода она равна емкости между первой (управляющей) сеткой и катодом, соединенным со второй и третьей сетками. Входная емкость гептода равна емкости между его сигнальной сеткой и катодом, соединенным со всеми пятью сетками.

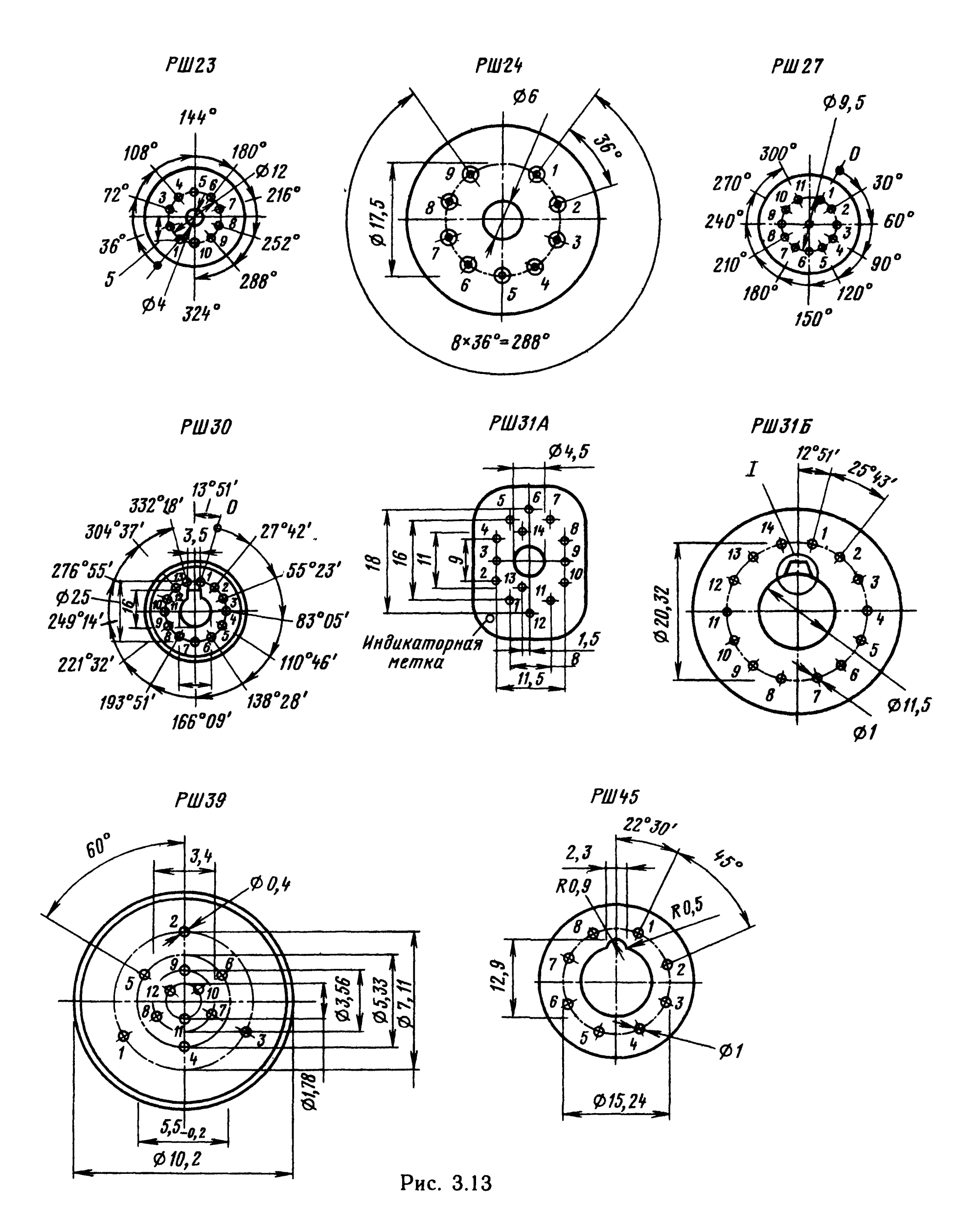


Рис. 3.13

Выходная емкость $C_{вых}$ — емкость между анодом и другими электродами, на которых в рабочем режиме лампы нет переменных потенциалов той же частоты, какую имеет переменное напряжение на сопротивлении нагрузки лампы. Выходная емкость триода — емкость между анодом и катодом. Для пентода она равна емкости между анодом и катодом, соединенным со второй и третьей сетками. Для гептода $C_{вых}$ равна емкости между его анодом и катодом, соединенным со всеми пятью сетками.

Усиление лампы на высоких частотах тем больше, чем меньше сумма $C_{вх}+C_{вых}$ и чем больше S.

Проходная емкость $C_{прох}$ — емкость между анодом и управляющей сеткой лампы.

Отношение крутизны характеристики лампы к реактивной проводимости ее проходной емкости служит показателем устойчивости усиления.

Коэффициент широкополосности — отношение $S/(C_{вх}+C_{вых})$.

Эквивалентное сопротивление внутриламповых шумов $R_ш$ — сопротивление резистора, на концах которого при температуре 25 °С вследствие собственных тепловых колебаний электронов возникает такое напряжение шумов, которое, будучи приложенным между управляющей сеткой и катодом идеальной бесшумной лампы,

Таблица 3.57 **Триоды**

Тип	Значения параметров номинальных электрических режимов							Максимально допустимые эксплуатационные значения параметров				Емкость пФ не более			Размеры мм не более	
	$I_н$, А	$U_а$, В	$U_с$, В ($R_к$, Ом)	$I_а$, мА	S мА/В	μ	R_i, кОм	$R_с$, МОм не более	$U_{а\,max}$ В	$I_{а\,max}$, ($I_{к\,max}$) мА	$P_{а\,max}$ Вт	$C_{вх}$	$C_{вых}$	$C_{прох}$	D	h
								Триоды								
6С3Б	0,15	250	(1360)	8,5	2,2	14	—	0,75	300	12	2,5	3,7	5,4	3,2	10,2	45
6С3П	0,3	150	(100)	16	19,5	50	—	1	160	35	3	7,4	1,7	2,2	22,5	56,5
6С4П	0,3	150	(100)	16	19,5	50	—	1	160	35	3	13	4,2	0,17	22,5	56,5
6С6Б	0,2	120	—2	9	5	25	5	1	250	14	1,4	2,95	4,4	1,42	10,2	36
6С7Б	0,2	250	—2	4,5	4	60	15	1	300	7	1,45	4,2	4,3	1	10,2	36
6С15П	0,44	150	(30)	40	45	52	1,24	0,15	150	52	7,8	13	2,1	5	22,5	60
6С19П	1	110	—7	95	7,5	—	0,42	0,5	350**	(140)	11*	8	4	10	22,5	72
6С28Б	0,31	90	(82)	11	17	40	—	0,1	120	(35)	1,3	8	4,2	3	10,2	48
6С29Б	0,31	90	(82)	11	17	40	—	1	120	35	1,3	12	5,4	0,35	10,2	48
6С31Б	0,22	50	0	40	18	17	—	1	100	60	2,5	5	1,5	4,8	10,2	44
6С32Б	0,165	200	(285)	3,5	3,5	100	—	2	250	(10)	1,5	3,5	1	1,2	10,2	31
6С34А	0,127	100	(120)	8,5	4,6	25	—	1	100	15	1,1	2,6	3,2	1,6	7,2	41
6С35А	0,127	200	(380)	3	4	70	—	1	300	7	0,9	2,8	3,3	1,7	7,2	41
6С40П	0,17	20 000	—10,5 17,5	0,3	0,2	1400	—	1	20 000	(0,5)	6	2,7	0,7	0,05	22,5	76
6С51Н	0,13	80	(130)	9,5	10	32	3,2	1	120	(15)	1,2	5,5	2,3	2,5	11	20,3
6С52Н	0,13	120	(130)	8	9,5	64	6,7	1	120	(15)	1,3	5,5	2,5	1,3	11	20,3
6С53Н	0,13	120	(68)	9	11	75	6,8	1	120	(15)	1,5	5,5	2	0,007	11	20
6С56П	1	110	—7	95	8,5	—	0,35	0,5	350	—	11	2,5	1,5	17	22,5	76
6С58П	0,3	150	(51)	27	36	64	—	—	330	(45)	5,7	9,0	5,4	2	22,5	56,5
6С59П	0,3	150	(51)	27	36	62	—	—	330	(45)	5,7	14,1	2,9	0,26	22,5	56,5
6С62Н	0,135	120	—	0,4	1,7	90	5,3	10	250	(15)	1,2	3,5	3,1	1,6	11	20,3
								*Двойные триоды****								
6Н1П	0,6	250	(600)	7,5	4,5	35	11	1	300	(25)	2,2	4,2	2,1 23	2,7	22,5	57
6Н2П	0,34	250	—1,5	1,8	2,25	98	50	0,5	300	10	1	2,7	3	0,7	22,5	57
6Н3П	0,35	150	2 (240)	8,5	5,9	36	6,25	1	300	(18)	1,5	3	1,6	1,6	22,5	60
6Н14П	0,35	90	—1,5	10,5	6,8	25	—	1	300	—	1,5	5,7 3,1	3,3 1,4	0,25 1,8	22,5	56,5
6Н15П	0,45	100	(50)	9	5,6	38	—	0,1	330	—	1,6	3	0,65 0,55	1,8	19	57
6Н16Б	0,4	100	(325)	6,3	5	25	—	1	200	(14)	0,9	3,4	3,2	2	10,2	41
6Н17Б	0,4	200	(325)	3,3	3,8	75	—	1	250	(10)	0,9	3,8	2,2	2,1	10,2	41
6Н18Б	0,33	100	(325)	6,3	5	23	—	1	200	(12)	0,9	3,4	1,9	2	10,2	41
6Н19П	0,65	150	(50)	14,5	13,5	70	—	—	200	(50)	2	4,3	1,5	4	22,5	60

6Н21Б	0,4	200	(330)	3,5	3,8	90	—	2	250	(10)	1	3,5	0,85	1,4	10,2	40
6Н23П	0,3	100	9	15	12,7	34	—	1	300	(20)	1,8	4,5	2,45 2,25	1,85	22,5	60
6Н24П	0,3	90	9	15	12,5	34	—	1	300	(20)	1,8	4,8 7,6	2,4 3,75	1,4 0,35	22,5	57
6Н27П	0,33	6,3	0	0,9	2,8	13	—	1	300	(20)	0,6	3,6	2,11	1,6	22,5	56,5
		12,6	0	2,5	4,9	15	—									
		25	0	8	18	16	—	1	550	(22)	2	—	2,4	—	22,5	51
6Н13П	0,31	90	(91)	17	12	31	—									

* При U_a>200 В допускается $P_{a\,max} \leqslant 7$ Вт. ** При P_a<5 Вт допускается $U_{a\,max}$ <450 В *** Первое значение $C_{вых}$ и $C_{прох}$ — для первого триода, второе — для второго, $I_{к\,max}$, $I_{a\,max}$, $P_{a\,max}$ относятся к каждому из двойных триодов. Если приводится одно значение, значит, оно относится к каждому из двойных триодов.

Таблица 3.58. **Пентоды и тетроды**

Тип	Значения параметров номинальных электрических режимов								Максимально допустимые эксплуатационные значения параметров					Емкость, пФ, не более			Размеры, мм, не более	
	$I_н$, А	U_a, В	U_{c2}, В	U_{c1}, В ($R_к$, Ом)	I_a, мА	I_{c2}, мА	S, мА/В	R_i, кОм	$I_{к\,max}$, мА	$U_{a\,max}$, В	R_c, МОм, не более	$P_{a\,max}$, Вт	$P_{c2\,max}$, Вт	$C_{вх}$	$C_{вых}$	$C_{прох}$	D	h
								Пентоды с короткой характеристикой										
6Ж1П	0,17	120	120	(200)	7,35	3	5,2	300	20	200	1	1,8	0,55	4,7	2,8	0,03	19	41
6Ж2П	0,17	120	120	(200)	6	5	4,5	130	20	200	1	1	0,65	4,7	2,8	0,0035	19	41
6Ж9П	0,3	150	150	(80)	15	4,5	17,5	150	35	250	1	3	0,75	9,5	3,5	0,003	22,5	41
6Ж10П	0,3	200	100	(82)	6,5	5,5	10	100	35	250	1	3	0,75	10	4,8	0,002	22,5	41
6Ж11П	0,44	150	150	(50)	25	7,5	28	36	40	150	0,3	4,9	1,15	15,6	3,95	0,1	22,5	60
6Ж23П	0,44	150	150	(50)	13,5	6	15	36	40	150	0,3	2,45	1,15	15,5	3,5	0,075	22,5	57
6Ж32П	0,2	250	140	—2	3	0,8	2,8	2500	6	300	3	1	0,2	4	5,5	0,05	22,5	57
6Ж33А	0,127	120	100	(120)	7,5	4	4,5		15	150	1	1,3	0,4	3,6	3,3	0,3	7,2	66
6Ж38П	0,19	150	100	(82)	12	3,5	10,6	360	25	300	1	3	0,5	5,8	4	0,02	19	57
6Ж40П	0,3	12,6	6,3	—	1,85	0,5	2,1	100	15	30	2,2	0,5	0,5	7,9	4	0,025	19	57
6Ж43П	0,48	150	150	(50)	29	6,5	29	36	46	150	0,3	3,1	1,35	15,5	3,45	0,075	22,5	50
6Ж49П-Д	0,3	150	150	(80)	15	2,45	17,5	100	22	150	0,5	2,85	0,45	9	3,1	0,03	22,5	57
6Ж50П	0,3	150	150	(43)	25	4	35	90	45	350	(50... 1800) кОм	5,3	0,9	12	2,8	0,06	22,5	56,5
6Ж51П	0,3	200	200	(200)	8	3,5	15,5		25	550	(500... 2500) кОм	2,5	1	11,5	3,3	0,005	22,5	62
6Ж52П	0,33	100	150	(24)	41	8	55	—	60	250	0,5	7,5	1,2	13,5	1,8	0,05	22,5	57
6Ж53П	0,16	150	150	(68)	13	2,2	19	—	24	400	—	3,5	0,4	6,6	1,7	—	19	48
								Пентоды переменной крутизны										
1К2П	0,03	60	45	0	1,35	0,35	0,7	1500	3,5	90	3	0,3		3	4,9	0,01	19	57
6К1Б	0,2	120	120	(200)	—	4	4,8	—	15	150	1	1,2	0,4	6,3	4,7	0,03	10,2	36

Окончание табл 3 58

Тип	Значения параметров номинальных электрических режимов								Максимально допустимые эксплуатационные значения параметров					Емкость, пФ, не более			Размеры, мм, не более	
	$I_н$, А	U_a, В	U_{c2}, В	U_{c1}, В ($R_к$, Ом)	I_a, мА	I_{c2}, мА	S мА/В	R_i, кОм	$I_{к\,max}$, мА	$U_{a\,max}$, В	R_c, МОм, не более	$P_{a\,max}$, Вт	$P_{c2\,max}$, Вт	$C_{вх}$	$C_{вых}$	$C_{прох}$	D	h
6К1П	0,15	250	100	—3	6,6	2,7	1,8	450	—	275	—	1,8	0,33	4,1	3,9	0,01	19	42
6К4П	0,3	250	100	(68)	10	5,5	4,4	850	20	300	0,5	3	0,6	7,2	7,8	0,0045	19	48
6К6А	0,127	120	100	(120)	7,5	4	4,5		15	150	1	1,3	0,4	3,6	3,3	0,03	7,2	66
6К8П	0,3	12,6	3,2	—	0,9	0,25	1,1	190	15	30	10	0,5	0,5	6,7	4,1	0,025	19	57
	0,3	25	6,8	—	2,75	0,75	2,1	75	15	30	10	—	—					
6К13П	0,3	200	90	(120)	12	4,5	12,5	500	20	550	1	2,5	0,65	11,7	3,9	0,006	22,5	62
6К14Б-В	0,13	50	50	—1	5,5	1,5	5	—	15	150	1	0,5	0,3	6,9	2,5	0,05	10,2	35
6К15Б-В	0,44	100	100	—	5	2,5	6 дБ/В	—	15	120	0,5	1,2	0,4	8	5,5	0,15	10,2	43
6К16Б-В	0,4	100	100	—	11	5	—	—	30	120	0,5	1,2	0,4	7,5	5,5	0,1	10,2	43
Тетроды																		
6Э5П	0,6	150	150	(30)	43	14	30,5	8	100	250	0,5	8,3	2,3	17	2,8	0,065	22,5	72
6Э6П-Е	0,6	150	150	(30)	44	10	30,5	15	70	250	0,5	8,25	2,1	17	6,8	0,075	22,5	67
6Э12Н	0,14	120	50	(68)	10	3,6	9,5	—	20	330	1	2,2	0,2	7	1,5	0,017	11	25,3
6Э13Н	0,14	27	27	(68)	7	3,6	8,5	—	15	300	1	2,2	0,2	7	1,9	0,025	11	25,8
6Э14Н	0,14	27	27	(68)	7	3,6	8,5	—	15	300	1	2	0,2	7	1,9	0,025	11	25,8
Тетроды со вторичной эмиссией																		
6В1П	0,4	250	250	(200)	26	3,5	28	—	20	550	—	4,5	0,8	10,2	5,4	0,008	22,5	72
6В2П	1,6	600	300	—25	2000[1]	—	300[1]	—	—	600	—	3	1	32	20	0,2	22,5	67
6В3С	0,85	700	400	—25	2000[1]	—	300[1]	—	—	700	—	5	1,5	17	17	0,2	24,5	70
Выходные лучевые тетроды и пентоды																		
6П1П	0,5	250	250	—12,5	44	7	4,9	42,5	70	420	0,5	12	2,5	9,5	5,4	0,7	22,5	72
6П13С[2]	1,3	200	200	—19	58	8	9,5	25	400	450	—	14	4	20	7,5	0,9	33	110
6П14П	0,7									8000								
6П14П	0,76	250	250	(120)	48	5	11,3	30	65	300[4]	1	14	2,2	13,5	10	0,4	22,5	78,5
6П15П	0,76	300	150	(75)	30	4,5	15	100	90	330	1	12	1,5	15,5	8,5	0,07	22,5	78,5
6П18П	0,76	180	180	(110)	53	8	11	22	75	250	1	12	2,5	11,5	6	0,2	22,5	78,5
6П20С[2]	2,5	175	175	—30	90	10	8,5	7	200	450	—	27	3,6	22,5	10	0,8	52	140
										6000								
6П21С[2]	0,7	600	200	—16	36	1,5	4	—	100	600	—	18	3,5	8,2	6,5	0,15	37	90
6П23П[3]	0,75	300	200	—16	40	5	4,5	44	100	350	—	11	3	8,3	5	0,1	22,5	75
6П25Б	0,45	110	110	—8	30	5	4,5	—	60	170	0,5	4,1	0,55	7,4	8,1	0,2	10,2	43
6П27С	1,5	250	265	—13,5	100	15	10	15	150	800	0,25	27,5	8	15	11	1	39	100
6П30Б	0,4	120	120	(330)	35	1,3	4,5	—	60	250	1	5,5	2	15	6	0,6	10,8	48
6П31С[2]	1,3	100	100	—9	80	8,5	12,5	4	600	300	—	107	4,5	21,8	10	1,3	34	103
										7000								

6П33П	0,9	170	170	—12,5	70	6,5	10	25	100	250	1	12	1,75	12	7	1	22,5	80
6П36С[2]	2	100	100	—7	120	—	14	4,5	250	250	0,5[5]	12	5	36	21	1	40	115
										7000								
6П38П	0,45	150	150	0	50	8	65	30	90	200	(25+1800) кОм	10,5	1,8	25	4,4	0,75	22,5	67
6П39С	0,6	125	125	(51)	50	6	45	18	75	400	—	7	1,5	18	4	0,11	30	71
6П41С	1,1	190	190	(300)	66	2,7	8,4	12	100	400	—	14	3	23	10,5	5,5	30	95
6П42С[2]	2,1	75	150	—60	700	120	—	1,5	310	250	2,2	24	4,5	25	4,4	0,75	22,5	67
										7000								
6П43П-Е	0,625	185	185	(340)	45	2,7	7,5	—	75	300	2,2	12	2	1,3	9	0,7	22,5	78,5
										2500								
6П44С[2]	1,35	50	200	—10	100	37	—	—	250	250	0,51	21	6	22	9	1,5	30,2	103
										7000								
6П45С[2]	2,5	50	175	—10	800	150	—	2,5	500	700	2,2	35	5,5	55	20	1,5	46	12,4
Двойные лучевые тетроды и пентоды																		
6Р4П	0,84	180	180	751	30	7	21	—	16	250	0,5	7,3	2,5	13	8	0,1	22,5	78,5
	0,84	200	150	130	10	2,8	8,5	—	60	250	1	2,8	0,65	10	11	0,4	22,5	78,5
6Р5П	0,55	250	250	—9	24	4,5	6	8	40	300	1,2	8	3,5	—	—	—	22,5	78,5
Триод-пентоды[7]																		
6Ф1П	0,42	100	—	—2	13	—	5	—	14	250	0,5	1,5	—	3	0,5	1,8	22,5	60
		170	170	—2	10	4,5	6,2	400	14	250	1	2,5	0,7	5,5	3,4	0,025	22,5	60
6Ф3П	0,81	170	—	1,5	2,5	—	2,5	—	15	250	3[6]	1	—	2,2	0,4	3,7	22,5	77
		170	170	11,5	41	14	7	15						9,3	8,5	0,3	22,5	77
6Ф4П	0,72	200	—	(600)	3	—	4	—	60	275	1[6]	8	2,5	4	0,6	2,7	22,5	72
		170	170	(100)	18	3,2	10,4	130	12	250	1	1	—	8,7	4	0,1	22,5	72
6Ф5П	0,93	100	—	(160)	5,2	—	7	—	40	250	1	4	1,7	3,5	0,25	1,8	22,5	79
		185	185	(340)	41	2,7	7,5	23	15	250	3,3[6]	0,5	—	11,7	8,8	0,7	22,5	79
6Ф12П	0,33	150	150	—(68)	12,5	—	19	—	22	250	—	3,5	—	4	0,34	2	22,5	57
		150	150	—	13	2,2	19	—	22	300	—	5	0,4	8,2	2,4	0,02	22,5	57
9Ф8П	0,3	100	—	—2	14	—	5	—	14	250	0,5	1,5	—	3	0,3	1,8	22,5	57
		170	170	—2	10	4,5	6,2	400	14	250	1	—2,5	0,7	5,5	3,2	0,025	22,5	57
15Ф4П	0,3	200	—	—	3	—	4	—	12	250	3[6]	1	—	4,6	2,7	3,2	22,5	67
		200	200	—	18	3	10,4	110	40	250	2[6]	4	1,7	10,4	5	0,1	22,5	67
16Ф3П	0,3	170	—	—1,5	2,5	—	2,5	—	15	250	3[6]	1	—	2,2	0,4	3,4	22,5	78,5
		170	170	—11,5	41	14	7	15	60	275	1[6]	8	2,5	9,3	8,5	0,3	22,5	78,5
18Ф5П	0,3	100	—	(160)	5	—	5,5	—	15	250	3,3[6]	0,7	—	—	—	—	22,5	78,5
		185	185	(840)	45	2,7	7,5	—	75	300	2,2[6]	9	2	—	—	—	22,5	78,5

[1] В импульсе

[2] Лампы для выходных каскадов строчной развертки телевизоров. Для них в квадратных скобках указаны импульсные значения токов и обратных импульсных напряжений на аноде

[3] Лампы для РЧ каскадов усиления мощности

[4] При $P_a \leqslant 8$ Вт допустимо $U_{a\,max} = 400$ В

[5] В цепях строчной развертки допускается $R_{c1} = 2,2$ МОм

[6] При автоматическом смещении

[7] В первых строчках для каждой лампы приведены параметры триода, во вторых — пентода

Таблица 3.59. **Частотно-преобразовательные лампы**

Тип	Значения параметров номинальных электрических режимов							Максимально допустимые эксплуатационные значения параметров					Емкость, пФ, не более			Размеры, мм, не более	
	$I_н$, А	U_a, В	U_{c2+4}, В	U_{c1}, В, ($R_к$, Ом)	I_a, мА	I_{c2+4}, мА	$S_{пр}$, мА/В, не менее	$I_{к\,max}$, мА	$U_{a\,max}$, В	$R_{c1\,max}$, МОм, не более	$P_{a\,max}$, Вт	$P_{c2+4\,max}$, Вт	$C_{вх}$	$C_{вых}$	$C_{прох}$	D	h
1А2П	0,03	60	45	0	0,7	1,1	0,2	3	90	1	0,3	1,1	5,1	6,3	0,6	19	50
6А2П	0,3	250	100	—1,5	3	7	0,3	14	330	—	1,1	1,1	7,5	10,5	0,35	19	57
6А4П	0,44	200	100	—10	34	32	—	20	250	0,5	2	0,5	10,5	2,8	0,35	22,5	60
6И1П	0,3	100	—	—2	6,8	—	—	6,5	250	0,5	0,8	—	3,2	2,3	1,2	22,5	78
	0,3	250	100	—2	3,8	6,5	0,77	12,5	300	3	1,7	1	6,1	8,8	0,006		
6И4П	0,45	100	—	(110)	9	—	—	20	550	3	1,5	—	3	1,7	1,8	22,5	50,5

Примечания 1 Для лампы 6А2П приведены значения I_a в режиме самовозбуждения ее гетеродинной части при R_{c1}=22 кОм и для 1А2П при R_{c1}=51 кОм 2 Указанные значения I_{c2+4} и $P_{c2+4\,max}$ относятся к соединенным вместе второй и четвертой сеткам 3 Для лампы 6И1П в верхней строчке указаны параметры триодной части, в нижней — гептодной 4 Входной сигнал подается на третью сетку ламп 1А2П, 6А2П и на первую сетку гептодной части лампы 6И1П

Таблица 3.61. **Электронно-световые индикаторы**

Тип	Значения параметров номинальных электрических режимов									Максимально допустимые эксплуатационные значения параметров					Размеры, мм, не более	
	$U_н$, В	$I_н$, А	U_a, В	$U^*_{кр}$, В	U_c, В	I_a, мА	$I^*_{кр}$, мА	S, мА/В	μ	$U_{a\,max}$, В	$U_{кр\,max}$, В	$U_{кр\,min}$, В	R_c, МОм, не более	$P_{a\,max}$, Вт	D	h
6Е1П	6,3	0,3	100	250	—2	—	4	0,5	24	250	250	150	3	0,2	22,5	72,5
6Е2П	6,3	0,58	150	250	—4	1,55	2,5	1,4	30	250	250	150	0,5	0,4	22,5	72
6Е3П	6,3	0,23	250	250	0	0,35	—	—	—	300	300	—	3	0,5	22,5	72

* $U_{кр}$, $I_{кр}$ — напряжение и ток кратера

вызывало бы в ее анодной цепи ток шумов, равный возникающему в реальной лампе.

Для триода $R_ш$=3/S; для пентода $R_ш = (3/S) + (20I_aI_{c2})/[S^2(I_a+I_{c2})]$. Здесь токи I_a и I_{c2} выражены в миллиамперах, крутизна S — в миллиамперах на вольт и сопротивление $R_ш$ — в килоомах. Сопротивление $R_ш$ имеет значение при выборе лампы для первых каскадов усилителей.

Эксплуатация ламп

Работа ламп при напряжении накала на 5...10 % выше номинального увеличивает вероятность перегорания и обрыва подогревателей в лампах с катодами косвенного накала и приводит к преждевременному выходу из строя ламп с катодами прямого накала. При напряжении накала на 10...15 % ниже номинального уменьшаются токи электродов и крутизна характеристики, повышается интенсивность отравления катода остаточными газами.

Во избежание пробоя и короткого замыкания катода с подогревателем напряжение между ними должно быть мало. Не рекомендуется последовательное соединение подогревателей (нитей накала) ламп, так как это может привести к их перегреву, к короткому замыканию между катодом и подогревателем и к ухудшению параметров ламп.

Сопротивление резистора в цепи управляющей сетки не должно превышать указанного в таблице максимально допустимого значения R_c для данного типа лампы. При использовании ламп с большой крутизной необходимо применять автоматическое смещение. Превышение $U_{a\,max}$ может привести к междуэлектродному пробою, разрушению оксидного слоя катода, а превышение максимально допустимых мощностей — к ухудшению вакуума и уменьшению эффективности катода.

Особенно опасны сочетания следующих режимов:

максимальное напряжение накала при малом токе катода или при наибольшем напряжении между катодом и подогревателем;

пониженное напряжение накала с большим током катода;

максимально допустимая мощность, выделяемая на электродах, с большим сопротивлением в цепи управляющей сетки;

наибольшая температура баллона при наибольших напряжениях на электродах и малом токе катода;

Таблица 3.60. Генераторные лампы и некоторые усилительные лампы в генераторном режиме

Тип	Значения параметров номинальных электрических режимов							Максимально допустимые эксплуатационные значения параметров						Емкость, пФ, не более			Размеры, мм, не более	
	$U_н$, В	$I_н$, А	$U_а$, В	U_{c2}, В	U_{c1}, В ($R_к$, Ом)	$I_а$, мА	S, мА/В, не менее	$U_{a\,max}$, В	$I_{к\,max}$, мА	$P_{a\,max}$, Вт	$P_{c1\,max}$, Вт	$P_{c2\,max}$, Вт	$f_{пред}$, МГц	$C_{вх}$	$C_{вых}$	$C_{прох}$	D	h
6Н16Б	6,3	0,37	100	—	(325)	6,3	5	350	14	0,2	0,1	—	440	2,7	1,7	1,5	10,2	41
ГУ-13	10	5,1	2000	400	—	50	—	2000	—	100	—	22	30	19,5	17,5	0,25	65	191
ГУ-15	4,4	0,68	220	200	—14	50	4,7	400	85	15	0,4	4	60	12	14,5	0,16	45,3	93,5
ГУ-17	6,3	0,8	200	200	—10	20	2,45	400	100	12	0,5	3	250	7,8	3,2	0,1	22,5	80
ГУ-18	6,3	1,2	250	200	—	35	22	600	130	27	1	4	600	8,4	3,2	0,6	40	85
ГУ-19	6,3	2	350	250	—17	40	45	750	280	40	1	7	500	12	4	0,08	40	100
ГУ-29	6,3	2,25	250	175	—17	40	45	750	280	40	2	6	500	12	4	0,08	40	100
ГУ-32	6,3	1,6	350	250	—10	19	—	500	100	15	—	5	200	9,4	4,8	0,5	61	88
ГУ-42	6,3	2	600	250	—17	40	4,5	750	700	50	2	6	60	11	5	0,05	41	100
ГУ-50	12,6	0,7	800	250	—40	50	4	1000	230	40	1	5	120	15	10,3	0,1	45,3	93,5
ГС-4В	6,3	0,47	200	—	—	30	18	350	65	15	0,4	—	5000	3,8	0,04	2,1	23,4	31,3
ГС-6В	6,3	0,9	250	—	—	30	22	450	100	28	0,5	—	5000	5,5	2,4	0,06	25,5	37
ГС-11	6,3	0,29	175	—	—0,75	10	9	175	10	1,5	0,1	—	4000	3,5	0,015	1,6	15,4	25,1
ГС-13	6,3	0,49	250	—	—1,8	30	18	300	65	13	0,4	—	4000	3,8	0,04	2,1	23,4	31,3
ГС-14	6,3	0,73	350	—	—2,2	30	20	400	100	88	0,5	—	4000	5,5	0,06	2,3	25,5	37
ГУ-63	6,3	0,69	150	250	—16	—	2,8	700	50	13	0,5	3	200	8,3	1,9	0,1	30,5	6,5
ГУ-64	6,3	3,15	300	300	—	250	11,5	200	320	100	1	15	175	23	14	0,5	66	127
ГК-71*	20	2,7	1500	400	—50	250	4,2	1500	—	125	—	25	20	22	24	0,15	68	195
Генераторные триоды диапазонов ДЦВ и СМВ																		
6С13Д	6,3	0,78	300	—	(200)	21	5,2	350	35	9	0,1	—	3600	3,1	0,03	1,6	21,7	48
6С17К-В	6,3	0,3	175	—	—(0,2...1,3)	10	14	200	11	2	0,1	—	6000	4	0,015	1,8	13,5	25,7
6С36К	6,3	0,32	250	—	—(0,2...1,5)	10	12	300	10	3	0,1	—	10 300	3,6	0,02	2,4	15,4	28,7
6С44Д	6,3	0,33	250	—	—4	26	6	300	80	8	—	—	3000	4	0,1	2,1	20,7	48,5
6С50Д	6,3	0,37	250	—	—4	22	6	1500	—	8	0,5	—	—	4,5	0,12	2,3	15	48,5

* U_{c3}=50 В; у остальных ламп с защитной сеткой последняя соединена с катодом

Таблица 3.62. **Кинескопы**

Тип	Значения параметров номинальных электрических режимов*						Максимально допустимые эксплуатационные значения параметров				Диаметр горловины, мм, не более	Размеры, мм, не более***
	$I_{н}$, А	$U_{а}$, кВ	$U_{ф}$, В	$U_{у}$, В	$U_{м\,зап}^{**}$, В	$U_{м}$, В	$U_{а\,max}$, кВ	$U_{ф\,max}$, В	$U_{у\,max}$, В	$I_{л\,max}$, мкА		
3ЛК2Б	0,3	6	0 30	300	5 25	7	7	500	450	—	13	130×90
4ЛК2Б	0,25	3	—	—	10 30	7	3,2	—	—	7	13	32×25×118
6ЛК1Б		25	—	—	95 35	55	27,5	—	—	200	21	65×97×262
6ЛК3Б	0 27	6	0 350	300	6 12	5	7	400	400	—	9,2	52×41×118
11ЛК1Б	0 3	9	0 500	300	15 35	15	11	600	400	50	13	92×65×175
16ЛК1Б	0,3	9	0 450	300	10 40	15	11	600	400	60	13	135×112×190
23ЛК9Б	0,065	9	0 250	300	25±10	15	11	500	350	—	21	199×157×185
23ЛК13Б	0,065	11	0 300	100	45	25	13	500	140	150	21	207×167×210
25ЛК2Ц	0,2	15	3000 4000	400	35 70	17,6		3000	550	—	54	234×172×240
31ЛК3Б	0,065	11	0 350	250	30, 60	35	13	500	350	300	20,5	290×229×223
31ЛК4Б	0,065	11	0 350	250	30 60	35	13	500	350	300	20,5	290×229×273
32ЛК1Ц	0,31	17,5	2500	400	50 100	50	20	5500	650	—	65	302×221×301
35ЛК6Б	0,6	12	—100 425	300	30 90	25	15	1000	500	—	38	325×260×395
40ЛК3Б	0,3	12	0 400	400	20 70	27	14	700	500	150	28,6	358×289×345
40ЛК5Б	0,06	14	0 400	400	30 60	27	16	—	500	300	20,5	354×285×285
40ЛК6Б	0,3	12	—100 425	300	30 90	25	15	100	500	150	30,5	343×279×375
40ЛК7Б	0,3	16	0 400	400	40 77	—	18	1000	700	—	29,7	359×284×290
40ЛК11Б	0,32	16	—50 400	400	20 70	30	20	—	500	180	29,6	354×285×310
43ЛК12Б	0,6	14	—100 425	300	30 90	25	16	1000	500	150	36,5	391×312×297
44ЛК1Б	0 3	18	0 400	400	40 77	40	22	1000	700	300	29 5	381×306×297

Таблица 3 63. **Параметры экранов и цоколевка кинескопов**

Тип	Размер растра, мм	Разрешающая способность линий	Яркость*, кд/м^2 (при токе луча, мкА, не более)	Угол отклонения луча, град	Тип цоколя
3ЛК2Б		400	100	55	РШ21а
4ЛК2Б	19×26	300	40	55	РШ21а
6ЛК1Б	36×48	550	4000 (150)	70	
6ЛК3Б	44,5×33,5	400	40	55	РШ21а
11ЛК1Б	67×84	600	260 (40)	55	РШ4
16ЛК1Б	98×116	600	100	70	РШ4
23ЛК9Б	135×180	600	150 (21)	90	РШ4
23ЛК13Б	217×288	600	225 (100)	90	РШ2
25ЛК2Ц	185×138	300	180	90	РШ21а
31ЛК3Б	250×320	600	160 (180)	110	РШ20
31ЛК4Б	257×195	600	160	90	РШ21а
32ЛК1Ц-1	244×182	300	150	90	РШ30а
35ЛК6Б	288×217	600	100	90	РШ5-1
40ЛК3Б	320×250	600	100	90	РШ45
40ЛК5Б	320×250	600	120	70	РШ45
40ЛК6Б	270×360	600	120 (150)	70	РШ45
40ЛК7Б	320×250	600	170 (110)	110	РШ45
40ЛК11Б	300×225	1200	120	110	РШ45
43ЛК12Б	360×270	600	40	110	РШ5-1
44ЛК1Б	346×270	600	170	110	РШ45-1
44ЛК2Б	346×270	600	150	110	РШ20а
47ЛК2Б	305×385	600	100 (180)	110	РШ45
50ЛК1Б	385×470	600	140 (350)	110	РШ45
50ЛК2Б	393×308	600	170	110	РШ45
51ЛК1Ц					
59ЛК2Б	385×470	600	120 (350)	110	РШ45
59ЛК3Б	385×489	600	120	110	РШ45
59ЛК3Ц	380×480	600	90 (1000)	90	РШ10
61ЛК1Б	375×480	600	150 (350)	110	РШ45
61ЛК2Б	481×375	1000	150	110	РШ45
61ЛК3Б	481×375	600	165	110	РШ45
61ЛК3Ц	482×362	600	110 (5000)	90	РШ31Б
61ЛК4Ц	429×362	600	160	90	РШ31б
65ЛК1Б	416×530	600	200 (450)	110	РШ45
67ЛК1Б	402×535	600	200 (450)	110	РШ45

* В центре экрана

Окончание табл. 3.62

Тип	Значения параметров номинальных электрических режимов*						Максимально допустимые эксплуатационные значения параметров				Диаметр горловины, мм, не более	Размеры, мм, не более***
	$I_н$, А	$U_а$, кВ	$U_ф$, В	$U_у$, В	$U^{**}_{м\ зап}$, В	$U_м$, В	$U_{a\ max}$, кВ	$U_{ф\ max}$, В	$U_{у\ max}$, В	$I_{л\ max}$, мкА		
44ЛК2Б	0,7	13	0...350	250	35...70	40	14	500	350	300	20,5	381×306×279
47ЛК2Б	0,3	16	0...400	400	30...80	32	20	1000	550	300	28,6	362×442×302
60ЛК1Б	0,3	16	0...400	400	30...80	32	20	1100	550	350	28,6	442×358×320
50ЛК2Б	0,3	16	0...400	400	40...77	36	20	1000	700	350	28,6	442×358×320
59ЛК2Б	0,3	16	0...400	400	30...80	44	20	1100	550	350	28,6	546×437×362
59ЛК3Б	0,3	16	0...400	400	30...80	44	18	1100	550	350	28,6	546×437×362
59ЛК3Ц	0,9	25	4500...5500	400	100...190	—	18	6000	1000	—	36,5	546×428×501
61ЛК1Б	0,3	16	0...400	400	40...77	44	20	1000	700	350	27,6	496×422×362
61ЛК2Б	0,3	18	0...400	400	40...77	44	20	1000	700	350	28,6	525×419×370
61ЛК3Б	0,3	18	0...400	400	40...77	44	20	1000	700	350	28,6	525×422×370
61ЛК3Ц	0,9	20	3000	200	110...190	75	27,5	6000	1000	1000	38	535×419×529
61ЛК4Ц	0,72	25	4700...5500	400	100...190	75	27,5	6000	1000	1000	38	546×419×519
65ЛК1Б	0,3	20	0...400	400	40...90	5	23	1100	550	300	28,6	585×416×382
67ЛК1Б	0,3	15	0...400	400	40...90	55	23	1100	550	350	28,6	550×464×389

* Номинальное напряжение накала кинескопа 6ЛК1Б, 11ЛК1Б — 1,25 В; кинескопа 23ЛК9Б — 12 В и остальных — 6,3 В.
** Отрицательные значения напряжений.
*** Для кинескопов с прямоугольным экраном три числа выражают ширину, высоту и длину соответственно, для кинескопов с круглым экраном первое число — диаметр, второе — длина.

Порядок соединения электродов со штырьками													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
у	ф	к	м	н	н	м	х	х	х	х	х	х	х
у	—	—	м	к	к	м	х	х	х	х	х	х	х
—	и	н	к	м	н	х	х	х	х	х	х	х	х
у	ф	к	м	н	н	м	х	х	х	х	х	х	х
у	ф	к	м	н	н	м	х	х	х	х	х	х	х
у	ф	к	м	н	н	м	—	—	—	—	—	—	—
к	у	н	м	у	ф	х	х	х	х	х	х	х	х
м	к	н	н	м	у	ф	х	х	х	х	х	х	х
ф	—	к	—	н	м	х	у	н	к	—	—	х	х
м	к	н	н	м	у	х	х	х	х	х	х	х	х
м	к	н	н	м	у	ф	х	х	х	х	х	х	х
ф	—	к	м	у	н	н	к	м	у	у	к	м	—
н	м	—	ф	—	у	к	н	х	х	х	х	х	х
н	м	у	ф	—	м	к	н	х	х	х	х	х	х
н	м	у	ф	—	м	к	н	х	х	х	х	х	х
н	м	у	ф	х	м	н	х	х	х	х	х	х	х
н	м	у	ф	—	—	к	н	х	х	х	х	х	х
н	м	у	ф	—	м	к	н	х	х	х	х	х	х
н	м	—	ф	—	у	к	х	х	х	х	х	х	х
н	м	у	ф	—	м	к	н	х	х	х	х	х	х
м	к	н	н	м	у	ф	х	х	х	х	х	х	х
н	м	у	ф	—	м	к	н	х	х	х	х	х	х
н	м	у	ф	х	м	к	н	х	х	х	х	х	х
н	м	у	ф	—	м	к	н	х	х	х	х	х	х
н	м	у	ф	х	м	к	н	х	х	х	х	х	х
н	м	у	ф	х	м	к	н	х	х	х	х	х	х
н	к(R)	м(R)	у(R)	у(G)	к(G)	м(G)	х	ф	х	к(B)	м(B)	у(B)	н
н	м	у	ф	х	м	к	н	х	х	х	х	х	х
н	м	у	ф	—	м	к	н	х	х	х	х	х	х
н	м	у	ф	—	м	к	н	х	х	х	х	х	х
н	к(R)	м(R)	у(R)	у(G)	к(G)	м(G)	х	ф	х	к(B)	м(B)	у(B)	н
н	к	м	у	у	к	м	—	ф	—	к	м	у	н
н	м	у	ф	х	м	к	н	х	х	х	х	х	х
н	м	у	ф	х	м	к	н	х	х	х	х	х	х

наибольшая температура баллона с наибольшими мощностями, выделяемыми на электродах, и большим сопротивлением резистора в цепи управляющей сетки.

Приемно-усилительные и генераторные лампы малой и средней мощности устойчиво работают при температуре окружающей среды —60...+70 °С и повышенной относительной влажности окружающего воздуха до 38 % при 20 °С.

Для ламп, требующих применения ламповых панелей, вертикальное положение следует предпочитать любому другому. Между местом пайки выводов сверхминиатюрных ламп и их баллоном нужно обеспечить теплоотвод, зажимая вывод плоскогубцами. Изгиб выводов разрешается делать не ближе 5 мм от стекла баллона. При пайке не следует пользоваться кислотосодержащими флюсами; лучшим флюсом является спиртовой раствор канифоли.

3.6. КИНЕСКОПЫ

Параметры кинескопов и их цоколевка

Условное обозначение кинескопа состоит из букв ЛК и цифр. Число в начале обозначения указывает диаметр или размер диагонали экрана кинескопа в сантиметрах, а буква в конце обозначения — характер свечения его экрана; Б — кинескоп с белым свечением, Ц — кинескоп для приемника цветного телевидения.

В табл. 3.62 $U_а$ — постоянное напряжение на аноде (на аквадаге); $U_у$, $U_ф$ — постоянные напряжения на ускоряющем и фокусирующем электродах относительно катода; $U_{м\ зап}$ — запирающее напряжение на модуляторе (отрицательное напряжение, при котором прекращается свечение экрана); $U_м$ — модулирующее напряжение; $I_{л\ max}$ — максимально допустимый ток луча.

В табл. 3.63 приведены параметры экранов и цоколевка кинескопов.

Размер растра — часть экрана, на которой изображение получается без видимых искажений.

Разрешающая способность линий выражается максимальным количеством различимых глазом строк, укладывающихся на нормальной высоте кадра.

Яркость — сила света, испускаемого 1 м^2 экрана в направлении, перпендикулярном его поверхности, кд/м^2.

Приняты следующие условные обозначения выводов электродов кинескопов: к — катод; м — модулятор; н — подогреватель; у — ускоряющий электрод электронного прожектора; ф — фокусирующий электрод; х — штырек отсутствует; «—» — свободный штырек.

Электродам электронных прожекторов цветного кинескопа присвоены дополнительные индексы: G — зеленый, B — синий, R — красный (схемы расположения штырьков кинескопа приведены на рис. 3.12, 3.13).

Эксплуатация кинескопов

При эксплуатации кинескопов нельзя превышать максимально допустимые напряжения питания. Повышенное напряжение накала сокращает долговечность подогревателя и катода. При повышенном напряжении ускоряющего электрода уменьшается рабочая поверхность катода, увеличивается удельная эмиссия, усиливается бомбардировка поверхности катода положительными ионами остаточных газов, сокращается срок службы кинескопа.

При значительном повышении напряжений на электродах возникает паразитная эмиссия, вызывающая свечение экрана, возможен пробой между электродами.

При перекале катода и повышенном напряжении ускоряющего электрода люминофор разрушается под действием бомбардировки его отрицательными ионами (быстрее появляется ионное пятно). Недопустимы даже кратковременные импульсы напряжений, превышающие максимально допустимые значения, так как это может привести к разрушению покрытия катода, подогревателя или вывода катода, а также к ухудшению вакуума.

При недокале кинескопа и большом катодном токе возможны местные перегревы участков катода, приводящие к потере эмиссии. При понижении напряжения ускоряющего электрода облегчается режим работы выходной лампы строчной развертки, но значительно снижается яркость экрана. Поэтому для обеспечения достаточной яркости приходится увеличивать ток луча, что резко сокращает срок службы кинескопа. Напряжение между катодом и подогревателем с полярностью «минус» на катоде не должно превышать 125 В; обратная полярность недопустима.

Нельзя подавать на модулятор трубки положительные по отношению к катоду напряжения, так как при этом увеличивается ток утечки и уменьшается электрическая прочность промежутка катод — подогреватель.

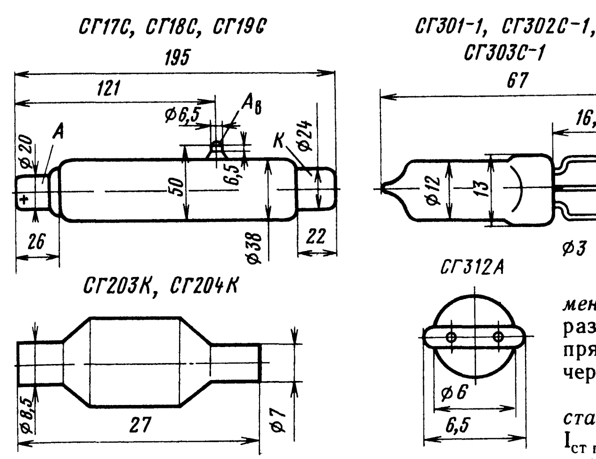
3.7. ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ПРИБОРЫ

Стабилитроны

Стабилитроны тлеющего разряда применяют для стабилизации напряжения на нагрузке, в качестве элементов связи УПТ, для повышения коэффициента усиления, в релаксационных генераторах, в реле времени и генераторах шумового напряжения.

Стабилитроны коронного разряда используют в устройствах стабилизации напряжения при малом потреблении тока, например для стабилизации напряжений питания электроннолучевых трубок, фотоэлектронных умножителей и т. д.

Маркировка стабилитронов состоит из трех элементов: первый — буквы СГ (стабилитрон газовый); второй — число, указывающее порядковый номер прибора; третий — буква, ха-



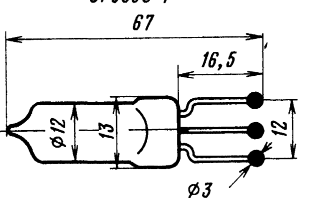


Рис. 3.14

Таблица 3.64. **Порядок соединения электродов стабилитронов со штырьками**

Тип	Схема расположения штырьков	Порядок соединения электродов со штырьками							
		1	2	3	4	5	6	7	8
СГ5Б	Без цоколя	к	а	к	х	х	х	х	х
СГ13П	РШ4 (рис. 3.12)	а	к	—	к	а	—	к	х
СГ15П-2	РШ4 (рис. 3.12)	а	к	—	к	а	—	к	х
СГ16П	»	а	к	—	к	а	—	к	х
СГ20Г	Без цоколя	к	а	к	х	х	х	х	х
СГ202Б	»	к	а	к	х	х	х	х	х
СГ203К	Рис. 3.14	а	к	х	х	х	х	х	х
СГ204К	»	а	к	к	х	х	х	х	х
СГ205Б	Без цоколя	а	к	к	х	х	х	х	х
СГ206А	»	а	к	х	х	х	х	х	х
СГ301С-1	Рис. 3.14	к	а	к	х	х	х	х	х
СГ302С-1	»	к	а	к	х	х	х	х	х
СГ303С-1	»	к	а	к	х	х	х	х	х
СГ312А	»	а	к	х	х	х	х	х	х

рактеризующая конструктивное оформление лампы.

Порядок соединения электродов стабилитронов со штырьками приведен в табл. 3.64, а схемы расположения штырьков показаны на рис. 3.12, 3.14.

Основные параметры стабилитронов даны в табл. 3.65.

Напряжение возникновения разряда $U_{в\ разр}$ — минимальное напряжение между электродами, достаточное для начала электрического разряда в приборе. Оно несколько превышает напряжение стабилизации и определяет минимальное напряжение источника питания в устройстве.

Напряжение стабилизации $U_{ст}$ — напряжение между анодом и катодом в диапазоне рабочих токов (напряжение, поддерживаемое стабилитроном).

Изменение напряжения стабилизации при изменении тока в рабочем диапазоне $\Delta U_{ст}$ — разность между наибольшим и наименьшим напряжениями стабилизации при изменении тока через стабилитрон от $I_{ст\ min}$ до $I_{ст\ max}$.

Максимальное и минимальное значение тока стабилизации (тока через стабилитрон) $I_{ст\ max}$, $I_{ст\ min}$ — значения тока, между которыми эффективность работы стабилитрона достаточна.

Эксплуатация стабилитронов

Для надежного возникновения разряда необходимо, чтобы напряжение источника питания составляло (1,2...1,3) $U_{в\ разр}$.

На электроды стабилитрона нельзя подавать переменное напряжение или напряжение обратной полярности (на анод — «минус»). Ток через стабилитрон должен быть в пределах указанного в таблице рабочего диапазона токов, причем рабочую точку желательно выбирать в середине этого диапазона.

Не следует включать стабилитроны параллельно, так как из-за разброса их параметров разряд может возникать только у одного стабилитрона и его ток может превысить максимально допустимое значение.

Не рекомендуется включать конденсатор емкостью более 0,1 мкФ между анодом и катодом стабилитрона тлеющего разряда, так как это может привести к релаксационным колебаниям.

Чтобы предотвратить переход коронного разряда в тлеющий, следует включать между анодом и катодом стабилитрона коронного разряда конденсатор емкостью не менее 0,1 мкФ.

Тиратроны тлеющего разряда

Тиратроны тлеющего разряда (ТТР) имеют накаленный катод, анод и одну или несколько сеток для управления моментом возникновения разряда. Они используются в устройствах автоматики и телемеханики, в счетно-решающих устройствах, измерительной и другой аппаратуре.

Обозначение тиратрона тлеющего разряда состоит из трех элементов: первый элемент — буквы ТХ (тиратрон с холодным катодом); второй элемент — цифра, обозначающая порядковый номер прибора; третий элемент — буква в конце обозначения, определяющая конструкцию баллона (табл. 3.66).

Тиратроны тлеющего разряда могут находиться в двух устойчивых состояниях: непро-

Таблица 3.65. **Стабилитроны**

Тип	$U_{в\ разр}$, В	$U_{ст}$, В	$I_{ст\ min}$, мА	$I_{ст\ max}$, мА	$\Delta U_{ст}$, В	Размеры, мм, не более	
						D	h
Стабилитроны тлеющего разряда							
СГ5Б	180	141...157	5	10	4	10,2	36
СГ13П	175	143...155	5	30	3,5	19	65
СГ15П-2	150	104...112	5	30	3	19	65
СГ16П	150	80...86	5	30	3	19	65
СГ20Г	135	85...91	4	15	2,5	12	85
СГ201С	150	86...92	4	15	2,5	33	64
СГ202Б	135	81...86	1,5	5	4,5	10	40
СГ203К	150	79...86	1	10	2	10	27
СГ204К	220	160...168,5	1	15	4	19	30
СГ205Б	135	81...84	9	11	0,5	10,2	85
Стабилитроны коронного разряда							
СГ206А	270	165...140	0,5	1,5	20	7,2	37
СГ301С-1	430	380...400	0,003	0,1	14	13	67
СГ302С-1	970	880...920	0,003	0,1	30	13	67
СГ303С-1	1320	1220...1280	0,01	0,1	30	13	67
СГ312А	430	380...400	0,003	0,05	7	6,5	65

водящем и проводящем, и в двух переходных. В непроводящем состоянии (ТТР закрыт) анодный ток отсутствует и существует разряд между катодом и сеткой подготовительного разряда (исключение составляют выпрямительный и электрометрический тиратроны, работающие без подготовительного разряда). В проводящем состоянии (ТТР открыт) через тиратрон протекает анодный ток.

Таблица 3.66. **Порядок соединения электродов тиратронов тлеющего разряда со штырьками**

Тип	Порядок соединений электродов со штырьками***							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ТХ2*	—	к	—	п	—	к	к	х
ТХ3Б	а	с2	с1	к	х	х	х	х
ТХ4Б	а	с2	с1	к	х	х	х	х
ТХ5Б	а	с	к	х	х	х	х	х
ТХ6Г	а2	с1	с3	—	к	с4	с2	а1
ТХ8Г	а	с3	к	—	с1	с2	х	х
ТХ11**	а	—	с2	к	х	х	х	х
ТХ12Г	а	с1	с0	к	с3	с2	х	х
ТХ16Г	а	с2	пк	с1	к	х	х	х
ТХ17А	а	с1	пк	с2	к	х	х	х
ТХ18А	а	с	к	х	х	х	х	х
ТХ19А	а	с	к	х	х	х	х	х
ТХИ2С	—	к	—	с2	—	с2	—	а
МТХ90	к	а	с	х	х	х	х	х

* Анод выведен к колпачку баллона

** Управляющая сетка выведена к колпачку баллона

*** Тиратрон ТХ2 имеет цоколь РШ4, тиратрон ТХИ2С — РШ5 1 (рис 3 12) Остальные тиратроны бесцокольные

По способу управления переходом от непроводящего состояния к проводящему ТТР разделяют на тиратроны с электростатическим и токовым управлением.

В ТТР с электростатическим управлением (ТХ3Б, ТХ6Г, ТХ8Г, ТХ12Г) для создания подготовительного разряда используется первая сетка В ее цепи протекает ток, определяемый последовательно включенным резистором и облегчающий возникновение разряда в анодной цепи На вторую сетку подаются положительное напряжение, недостаточное для возникновения разряда, и управляющий положительный импульс достаточной амплитуды и длительности для открывания тиратрона.

Тиратроны тлеющего разряда с токовым управлением открывается изменением сеточного тока: открывающий импульс подается на ту же сетку, которая служит для создания подготовительного разряда (тиратроны ТХ4Б в триодном включении, ТХ5Б, ТХ11Г, МТХ90). Эти тиратроны имеют высокую чувствительность к импульсным входным сигналам.

Основные параметры ТТР (табл 3 67)

напряжение возникновения разряда (промежутка анод—катод) $U_{в\ разр}$ — напряжение анода, необходимое для возникновения тлеющего разряда;

напряжение возникновения подготовительного разряда $U_{с\ к}$ — напряжение сетки, необходимое для возникновения тлеющего разряда в промежутке сетка — катод;

время запаздывания возникновения подготовительного разряда $\tau_{зап}$ — время с момента подачи установленного напряжения в цепь подготовительного разряда до возникновения тлеющего разряда в промежутке сетка — катод;

сеточный ток возникновения разряда $I_{подг}$ — ток в цепи управляющей сетки, при котором

Таблица 3.67. **Тиратроны тлеющего разряда**

Тип	$U_{в\ разр}$, В	U_a, В	$U_{с\ к}$, В	$\tau_{зап}$, с	$U_{вх\ min}$, В	$\tau_{упр}$, мкс	$I_{подг}$, мкА	$t_{вос}$, мкс	$I_{a\ max}$, мА	$I_{a\ ср}$, мА	U_{amax}, В	Размеры, мм, не более	
												D	h
МТХ90	120	65	85	—	25	10	3	800	4	2	200	12	42
ТХ2	425	125	—	—	—	—	—		100	12		19	51*
ТХ3Б	175	110	85	—	40	10	50	20...150	7	3,5	190	10,2	40*
ТХ4Б	180	120	90	1	10	10	10	10...100	7	3,5	225	10,2	40*
ТХ5Б	175	150	140	—	1,2	10	15	100...150	1,5	0,25	270	7,2	25*
ТХ6Г	285	140	130	10	120	10	50	80...100	2	1	300	13	50*
ТХ8Г	285	140	130	10	100	10	100	50...200	400	8	300	13	40*
ТХ11Г	200	125	—	7	35	—	—	—	10		230	13	60*
ТХ12Г	250	160	150	10	60	10	50	350	100	10	300	13	50
ТХ16Б	180	142	—	—	4,4	50	450	300	5	1	260	7,2	10*
ТХ17А	260	160	—	—	—0,5	—	600	200	5	1	260	8	46*
ТХ18А	175	62	82	—	10	—	5	400		0,5	2,25	7,7	38
ТХ19А**	280 (60)	150	145	—	2,5	100	40	800	5	1	265 (53)	8	16
ТХИ2С***	180	140	150	—	—	200	—		200000	50	300	33	72

* Без выводов. Длина выводов 35...40 мм.

** Для ТХ19А в скобках дано напряжение на первом аноде: здесь $U_{с\ к}$ — напряжение между первой сеткой и подкатодом.

*** Даны импульсные характеристики.

возникает разряд между анодом и катодом (при заданном напряжении анода);

напряжение входного сигнала (импульс) $U_{вх\ min}$ — амплитуда импульса, необходимого для возникновения тлеющего разряда в промежутке анод — катод (при установленном режиме включения прибора);

длительность входного импульса $\tau_{упр}$ — время, необходимое для возникновения самостоятельного разряда в промежутке анод — катод;

время восстановления электрической прочности $t_{вос}$ — минимальное время после прекращения тока анода, по истечении которого к тиратрону можно приложить анодное напряжение, не вызывающее возникновения разряда в приборе при отсутствии входных сигналов.

Проводящее состояние ТТР характеризуется падением напряжения между анодом и катодом при рабочем анодном токе U_a, падением напряжения между сеткой подготовительного разряда и катодом $U_{с.\ к}$; наибольшим значением анодного $I_{a\ max}$ и среднего анодного $I_{a\ ср}$ токов.

Эксплуатация ТТР. Рекомендуется следующий порядок подачи напряжений питания: сначала следует подать напряжения на управляющие сетки, затем на сетку подготовительного разряда, а после этого анодное напряжение. Гашение разряда в ТТР можно осуществить, снижая рабочее напряжение между его анодом и катодом ниже напряжения U_a. Во избежание случайных зажиганий ТТР нельзя даже кратковременно отключать источник напряжения смещения от управляющей сетки и понижать это напряжение смещения ниже значения $U_{с\ к}$, указанного в табл. 3.67.

Если ТТР с электростатическим управлением управляется импульсами через RC-цепочку, емкость ее конденсатора должна быть настолько большой, чтобы амплитуда и длительность сигнала на выходе цепочки были достаточными для возникновения разряда в тиратроне и при этом длительность импульса должна быть настолько малой, чтобы к моменту окончания действия гасящего импульса напряжение на сетке ТТР успело восстановиться до значения, близкого к напряжению смещения.

Чтобы в процессе гашения в промежутке сетка — катод не возникли импульсы тока, способные привести к ложному зажиганию тиратрона, следует уменьшить емкость конденсатора в сеточной цепи либо включить последовательно с конденсатором резистор.

Во избежание релаксационных колебаний, наводок и помех следует уменьшать емкости и индуктивности монтажа. В частности, ограничительный резистор в цепи сетки подготовительного разряда следует подключать непосредственно к выводу сетки.

При кратковременном включении аппаратуры не рекомендуется снимать подготовительный разряд и отключать напряжения смещений управляющих сеток и цепи подготовительного разряда. С целью повышения надежности работы тиратронов после длительного перерыва в работе рекомендуется проводить в течение нескольких десятков секунд их тренировку в рабочем режиме.

Характерными признаками неисправности ТТР являются молочно-белый цвет газопоглотителя на стенках баллона и отсутствие свечения катода тиратрона при включенном напряжении подготовительного разряда.

Пайка выводов ТТР должна производиться на расстоянии не менее 5 мм от места соединения выводов с ножкой.

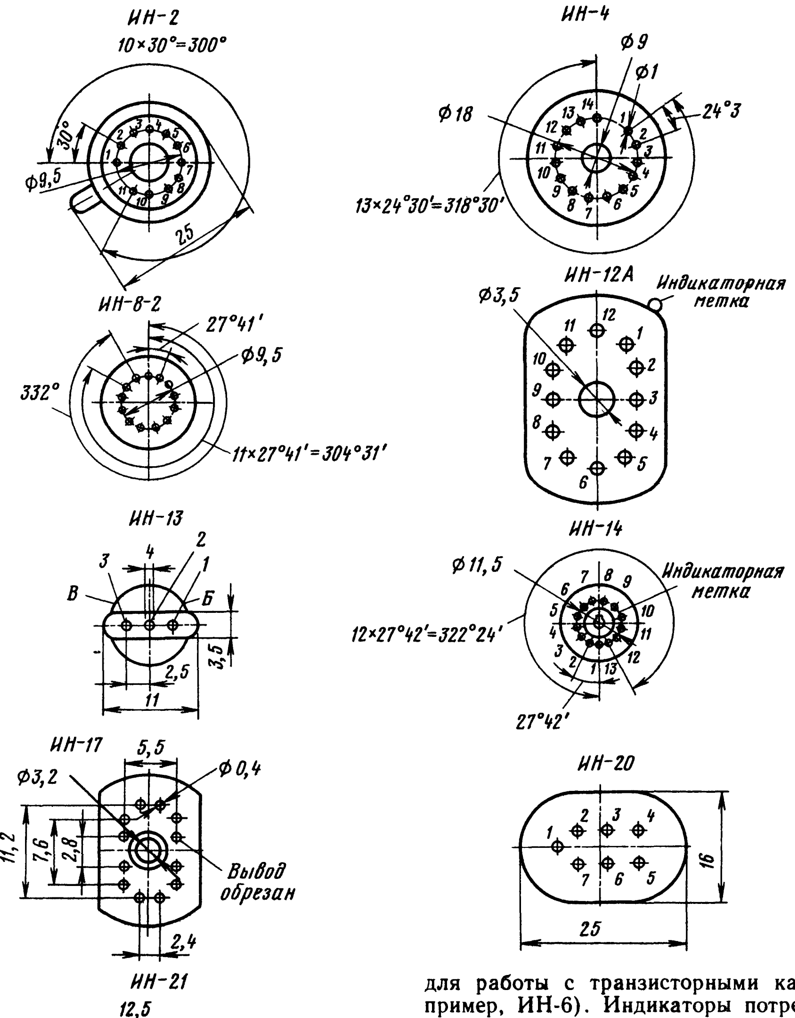


Рис. 3.15

Индикаторы тлеющего разряда

Индикаторы тлеющего разряда применяют для преобразования электрического сигнала в световой, для визуального представления выходных данных устройств дискретного действия, в качестве указателей напряжения, в триггерных цепях, в устройствах запоминания, причем некоторые из них можно использовать и для работы с транзисторными каскадами (например, ИН-6). Индикаторы потребляют малые мощности, имеют малую инерционность, просты по конструкции. Яркость свечения, достаточная для целей индикации (десятки — сотни кд/м^2), достигается обычно при токах, не превышающих несколько миллиампер, рабочее напряжение составляет несколько десятков вольт.

Простейший ионный индикатор — неоновая лампа (рис. 3.15) — состоит из баллона, наполненного неоном, с двумя впаянными в него электродами. Свечение прибора — оранжево-красное. Если между электродами лампы приложить напряжение, равное напряжению возникновения разряда $U_{в\ разр}$, то произойдет разряд и в цепи скачком возникнет ток. Для ограничения тока через лампу последовательно с ней всегда включается ограничительный резистор R, не допускающий перехода тлеющего разряда в дуговой. Его сопротивление рассчитывают по формуле.

$$R = (U_{и\ п} - U_а)/I_{max},$$

где $U_{и\ п}$ — напряжение источника питания, $U_а$ — напряжение между электродами лампы, I_{max} — максимально допустимый ток через лампу

Таблица 3.68 **Неоновые лампы**

Тип	$U_{в\ разр}$, В, не более	$I_{раб}$, мА, не более	Размеры, мм, не более		Тип	$U_{в\ разр}$, В, не более	$I_{раб}$, мА, не более	Размеры, мм, не более	
			D	h				D	h
ТН-0,95	80	1	15,5	44	ТН-20	150	20	56	94
НТ-30	82	30	56	94	ТН-0,31	170	0,3	9,5	34,5
ТН-30-3	82	30	56	94	ТН-0,9	200	0,9	15,5	45
ТН					ТМН-2	200	15	30,5	77
ТН-0,2-2	85	0,25	9,5	34,5	ТНУВ	550	—	10,2	72
ТН-0,2-1	85	0,25	9,5	34,5	МН-4	80	1,5	16	37
ТН-0,3-3	155	0,3	9,5	34,5	МН-3	65	1	15	44
ТН-0,5	90	0,5	15,5	45	МН-11	85	5	14,5	42
ТН-30-2М	105	30	56	94	МН-7	87	2	15	40
ТН-0,8	110	0,8	6	32	МН-6	90	0,8	6,8	28
ТН-0,9	200	0,9	15,5	45	МН-15	235	0,45	9,5	38
ТН-0,25	120	0,25	9,5	34,5	ВМН-1	126	—	7	37
ТН-1	140	1	13,7	26	ВМН-2	160	2	10,2	51
ТН-0,15	150	0,15	3	20	ВН-1	—	—	4,5	44
ТН-0,3	150	0,3	9,5	34,5	ВН-2	—	—	4,5	44

Неоновые лампы обозначаются следующим образом. Первый элемент обозначения — две буквы: Т — тлеющего разряда, Н — неоновая. Первое число после букв соответствует наибольшему току в миллиамперах, последующая цифра (через дефис) — порядковому номеру разработки.

Встречаются ранее принятые обозначения: М — миниатюрная; ТМ — точечная модуляторная; ВМ — волномерная; И — индикаторная; В — для вольтоскопов; УВ — указатель высокого напряжения. Цифры соответствуют порядковому номеру разработки.

Работу неоновой лампы определяют параметры: $U_{в\ разр}$ — напряжение возникновения разряда; $I_{раб}$ — рабочий ток (табл. 3.68).

Выпускаются индикаторные приборы, в которых представление светового сигнала осуществляется в знаковой форме в виде цифровых, буквенных или каких-либо других символов (табл. 3.69).

Таблица 3.69. **Порядок соединения электродов индикаторов тлеющего разряда с выводами**

Тип	Цоколь	Порядок соединения электродов с выводами													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ИН 1	РШ19 (рис 3 12)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	а	х	х	х
ИН-2	Рис 3 15	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	а	х	х	х
ИН-3	Без цоколя	а	к	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х
ИН-3А	»	а-к	а-к	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х
ИН-4	Рис 3 15	4	6	8	—	9	7	—	0	2	а2	3	5	а1	1
ИН-5А	РШ4 (рис 3 12)		«А»	«Х»	а	«0»	—	«х»	х	х	х	х	х	х	х
ИН 5Б	»		«Б»		а	«0»	—	«у»	х	х	х	х	х	х	х
ИН-6	Без цоколя	а	ик	вк	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х
ИН 7	РШ31 (рис 3 15)		а	—	«+»		«А»		—	«М»	—			«К»	«—»
ИН 7А	»	«М»	а		«+»		«%»	—	—		—	«—»	«К»	«П»	—
ИН-7Б	РШ31 (рис 3 13)	—	а	—			—	—	—		—	—		—	—
ИН-8	РШ27 (рис 3 13)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	а	х	х	х
ИН-8-2	Рис 3 15	1	2	3	—	4	5	6	7	зпт	8	9	0	а	х
ИН-9	»	а	к	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х
ИН-12А	РШ31А (рис 3 13)	а	0	9	8	7	6	5	4	3	2	1	х	х	х
ИН-12Б	»	а	0	9	8	7	6	5	4	3	2	1	зпт	х	х
ИН 13	Рис 3 15	а	ик	вк	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х
ИН-14	»	а	зпт	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	зпт	х
ИН-15А	РШ31А (рис 3 13)	а		«Р»	«—»	«+»		«М»	«К»	«П»	«%»		х	х	х
ИН-15Б	»	а			—		«Н»			—		«А»	х	х	х
ИН-16	Рис 3 15	а	1	7	3	зпт	4	5	6	2	зпт	8	9	0	х
ИН-17	»	а	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	х	х	х
ИН-18	РШ31 (рис 3 13)	7	8	9	а	о	1	а	2	3	—	4	5	а	6
ИН 19А	Без цоколя	а	—		—	«К»		«С»	«%»	«М»	«Р»	—		—	х
ИН-19Б	»	а	—	«Н»	—	«А»					«Т»	—			х
ИН 19В	»	а	—	«—»	—	«А/Б»	«П»	«%»		«+»	—		—	—	х
ИН-20	Рис 3 15	э	ап	а3	а2	а1	а0	к	х	х	х	х	х	х	х
ИН-21	»														
ИНС-1	»	а	к	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х
ИВ-1	Без цоколя	к	—	—	—	—	—	с	к	—	—	—	—	тчк	—
ИН 26	Рис 3.12	э	вк	а1	а0	а4	а3	а0	а2	вк	к	х	х	х	х

Примечание вк — вспомогательный катод, ик — индикаторный катод, зпт — запятая, тчк — точка, ап — анод последний, э — экран, а0 — анод нулевой, а1 — первая группа анодов

Таблица 3.70. **Знаковые индикаторы тлеющего разряда**

Тип	Индицируемые знаки	$U_{и\ п}$, В	$U_{а\ разр}$, В	$I_{раб}$, мА	Размеры, мм, не более	
					h	D
ИН-1	0; 1; 2; ...9	200	200	2,5...3	66	30,5
ИН-2	0; 1; 2; ...9	200	200	1,5...2	35,5	17
ИН-3	—	200	85	0,2	27	7,3
ИН-3А	—	—	180	2	32	8
ИН-4	0; 1; 2; ...9	200	170	2,5...3	46	31
ИН-5А	X; x; a; 0;	200	200	1,5	35	19
ИН-5Б	B; 0; ; у	200	200	1,5	35	19
ИН-6	—	200	140	1	37	10
ИН-7	+; —; К; М					
ИН-7А	+; —; П; К; М; %	200	170	4	46	31
ИН-8	0; 1; 2; ...9	200	170	2,5...3,5	55	17
ИН-8-2	0; 1; 2; ...9 и запятая	200	170	0,3...3,5	55	17
ИН-9	Свечение	240	100		185	11
ИН-12А	0; 1; 2; ...9	200	170	2,5...3	35	31×21
ИН-12Б	0; 1; 2; ...9 и запятая	200	170	2,5...3	35	31×21
ИН-13	—	—	170	0,3...0,5	160	10
ИН-14	0; 1; 2; ...9 и две запятые	200	170	0,3...4,3	54,5	19
ИН-15А	—	200	170	2,5...3	25	21×31
ИН-15Б	—	200	170	0,3...0,5	28	21×31
ИН-16	0; 1; 2; ...9 и две запятые	—	170	2,5...3,5	41,5	12,5
ИН-17	0; 1; 2; ...9	200	170	1,5	20	14×22
ИН-18	0; 1; 2; ...9	200	170	6...8	75	30
ИН-19А	—	200	170	2,5	52	18
ИН-19Б	—	200	170	2,5	52	18
ИН-19В	—	200	170	2,5	52	18
ИН-20	—	400	400	1,5...2,4	190	16
ИН-21	—	110	110	0,5...1	40	12,5
ИНС-1	—	—	65...95	0,5...1	30	7,2
ИВ-1	Точка, тире		20...25	40...50	36	10,75
ИН-26	Светящийся столбик	380	360	1,5...3	209	20

При эксплуатации знаковых индикаторов рабочий ток не должен выходить за пределы, указанные в справочнике. Для нормальной работы этих приборов необходимо создать начальную ионизацию, снижающую время запаздывания возникновения разряда. Она обычно создается внешним освещением. В темноте время запаздывания доходит до 1 с. Параметры знаковых индикаторов приведены в табл. 3.70.

Напряжение возникновения разряда $U_{в\ разр}$ — минимальное напряжение между анодом и катодом, при котором возникает тлеющий разряд. Поскольку в анодную цепь индикаторов всегда включается ограничительный резистор, то напряжение источника анодного питания должно несколько превышать напряжение возникновения разряда.

Рабочий ток $I_{раб}$ — ток в цепи анода прибора.

3.8. МИНИАТЮРНЫЕ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ

Миниатюрные лампы накаливания применяют для освещения шкал электроизмерительных и радиотехнических приборов, сигнализации, в различных пультах управления, оптических устройствах и приборах и т. д. (рис. 3.16).

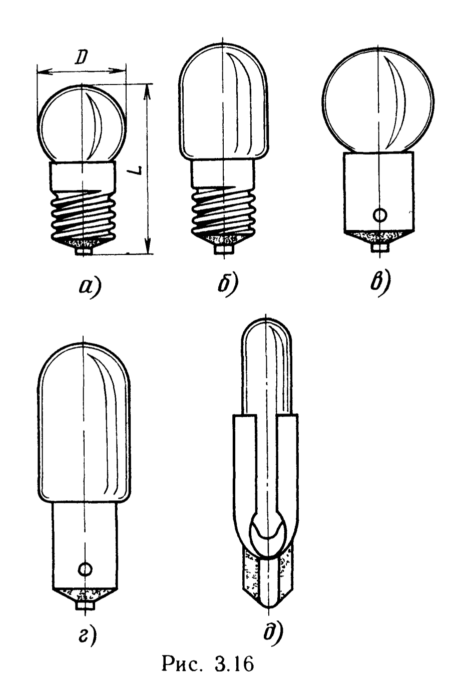


Рис. 3.16

Таблица 3.71. **Миниатюрные лампы накаливания**

Тип	$U_{ном}$, В	$I_{ном}$ (I_{max}), А	$P_{ном}$ (P_{max}), Вт	$Ф_{ном}$ ($Ф_{min}$), лм	Общий вид на рис. 3.16	Размеры, мм, не более	
						D	h
			Общего применения				
МН 1-0,068 (Мн-1)	1	0,068 (0,075)	—	—	а	12	24
МН 1,25-0,25	1,25	0,25 (0,28)	—	0,6	а	12	24
МН 2,3-1,25 (Мн-25)	2,3	1,25 (1,35)	—	21 (16)	а	16	30
МН 2,5-0,068 (Мн-2)	2,5	0,068 (0,075)	—	—	а	12	24
МН 2,5-0,15 (Мн-3)	2,5	0,15 (0,16)	—	2,3 (1,6)	а	12	24
МН 2,5-0,29 (Мн-4)	2,5	0,29 (0,33)	—	4 (3)	а	16	30
МН 2,5-0,4 (Мн-5)	2,5	0,40 (0,45)	—	9 (7,5)	а	12	24
МН 2,5-0,54 (Мн-7)	2,5	0,54 (0,60)	—	7,05 (5,3)	а	16	30
МН 2,5-0,72 (Мн-11)	2,5	0,72 (0,80)	—	12 (10)	а	16	30
МН 3-0,14 (Мн-12)	3	0,14 (0,16)	—	3,7 (3)	а	12	24
МН 3,5-0,14 (Мн-30)	3,5	0,15 (0,16)	—	3,7 (3)	а	12	24
МН 3,5-0,26 (Мн-13)	3,5	0,26 (0,28)	—	7,5 (6,2)	а	12	24
МН 6,3-0,3	6,3	0,3 (0,34)	—	8,5 (6,5)	а	12	24
МН 6,5-0,34 (А-58)	6,5	0,34 (0,37)	—	17,6 (14)	а	12	24
МН 13,5-0,16	13,5	0,16 (0,18)	—	(12)	а	12	24
МН 18-0,1 (Мн-23)	18	0,1 (0,12)	—	12 (8)	б	11	31
МН 18-0,1 (Мн-23)	18	0,1 (0,12)	—	12 (8)	б	11	31
МН 26-0,12-1	26	0,12 (0,15)	—	(10)	а	12	24
ММ-32	6	—	3 (3,3)	21,5 (8)	в	16	29
ММ-31	6	—	6 (6,6)	60 (51)	в	20	33
			Автомобильные				
А6-1*	7,5	—	1,8 (2)	12,6 (10)	в	12	24
А6-2*	7	—	3,5 (3,9)	25,1 (21)	в	15	29
А12-1*	14,5	—	2,1 (2,4)	12,6 (10)	в	12	24
А12-1,5*	14,5	—	3,1 (3,6)	18,9 (15)	в	15	29
А24-1*	28	—	2,5 (2,8)	12,6 (10)	г	11	30
			*Коммутаторные**				
КМ 6-60 (КМ1)	6	0,6 (0,65)	—	0,4 (0,35)	д	7,5	46
КМ 12-90 (КМ2)	12	0,09 (0,095)	—	0,55 (0,5)	д	7,5	46
КМ 24-35 (КМ24-П)	24	0,035 (0,04)	—	0,9 (0,85)	д	7,5	46
КМ 24-90 (КМ3)	24	0,09 (0,095)	—	1,75 (1,5)	д	7,5	46
КМ 48-50 (КМ4)	48	0,05 (0,06)	—	2,9 (2,5)	д	7,5	46
КМ 60-55 (КМ5)	60	0,055 (0,06)	—	5,7 (5,1)	д	7,5	46

* Второе число в обозначении лампы указывает коммутаторный ток, потребляемый ею

В табл. 3.71 приведены номинальные значения параметров (в первой графе в скобках указаны прежние обозначения ламп): напряжения $U_{ном}$; тока $I_{ном}$; мощности $P_{ном}$ и светового потока $Ф_{ном}$, т. е. такие значения параметров, при которых лампы должны нормально работать.

Номинальная мощность $P_{ном}$ — количество электрической энергии, потребляемое лампой в единицу времени.

Номинальный световой поток $Ф_{ном}$ — мощность светового излучения.

3.9. ЗНАКОСИНТЕЗИРУЮЩИЕ ВАКУУМНЫЕ НАКАЛИВАЕМЫЕ ИНДИКАТОРЫ

В знакосинтезирующих индикаторах информация, предназначенная для зрительного восприятия, отображается с помощью одного или нескольких дискретных элементов.

Вакуумный накаливаемый индикатор (рис. 3.17) представляет собой электровакуумный прибор с расположенными внутри него нитями накаливания (элементами излучения). Обозначение вакуумных накаливаемых индикаторов состоит из двух элементов: первый — буквы ИВ (индикатор вакуумный), второй — порядковый номер разработки (через дефис). Выпускаются знаковые и буквенно-цифровые накаливаемые индикаторы.

Семисегментные буквенно-цифровые индикаторы ИВ-9, ИВ-13, ИВ-19 и ИВ-20 позволяют высветить кроме цифр от 0 до 9 буквы А, Б, Г, Е, З, О, П, Р, С, У, Ч и децимальную точку. Четырехсегментные знаковые индикаторы ИВ-10 и ИВ-14 позволяют высветить знаки «+», «—» и цифру 1. Применяя попарно индикаторы ИВ-9 и ИВ-10 (или ИВ-13 и ИВ-14), можно отображать информацию, требующую расположения перед числом знаков «+» или «—». Десяти-

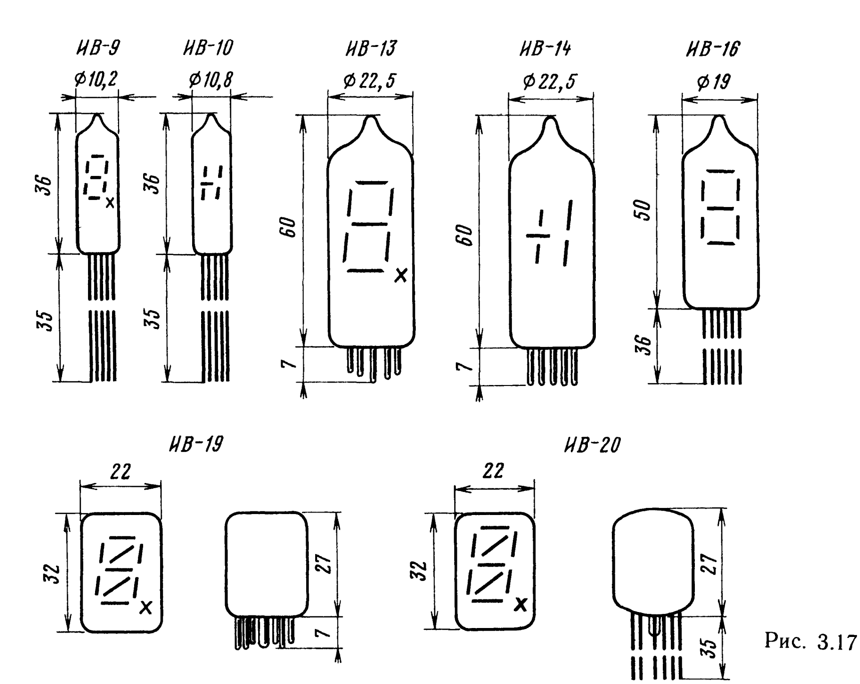


Рис. 3.17

сегментные индикаторы ИВ-19 и ИВ-20 позволяют высвечивать наибольшее число отображаемых знаков, в том числе некоторые буквы латинского алфавита.

Вакуумные накаливаемые индикаторы обладают самой высокой яркостью из всех приборов для отображения информации, что позволяет использовать их при любой внешней освещенности, вплоть до прямого солнечного света.

Достоинства знаковых накаливаемых индикаторов: высококонтрастные, свободные от индукционных, радиационных и других помех изображения цифр и знаков с изменяющейся в широких пределах яркостью (от нескольких сотен до десятков тысяч кд/м²), малое напряжение накала (3,15...7 В), широкий угол обзора (не менее 120°), большая долговечность (до десятков тысяч часов) при нормальной, пониженной или повышенной температуре, при неизменной яркости свечения. Недостатки этих индикаторов: большой ток потребления, выделение теплоты при работе, возникающие блики от круглого стеклянного баллона.

Основные характеристики, параметры и режимы работы вакуумных накаливаемых индикаторов (табл. 3 72):

яркость севечения — среднее по площади значение яркости всех элементов отображения информации индикатора;

угол обзора — максимальный угол между нормалью к центру информационного поля индикатора и направлением от этого центра к глазу оператора, при котором обеспечивается безошибочное восприятие отображенной информации при заданных значениях яркости, внешней освещенности и расстоянии наблюдения;

контраст — отношение разности яркости изображения и яркости фона объекта к яркости изображения;

Таблица 3.72. **Вакуумные накаливаемые индикаторы**

Тип	Размер знака, мм	Яркость, кд/м²	Контраст, %, не менее	Угол обзора, град	$U_{н\ и}$, В	$U_н$, В	$I_н$, мА	n	τ, с, не более	Размеры, мм, не более: D	h
ИВ-9	15,5×6	1700...3000	60	120	3,15...4,5	300	16...23	10^6	0,25	10,2	36*
ИВ-10	12×5,8	1700...3000	60	120	3,15...4,5	300	16...23	10^6	0,25	10,8	36*
ИВ-13	15,4×12	2400...4000	60	120	3,6...4,5	300	17...25	10^6	0,25	22,5	60
ИВ-14	22×12,5	7000...10 000	60	120	6,3...7	300	17...25	10^6	0,25	22,5	60
ИВ-16	12×12	1700...3000	60	120	3,15...4,5	300	16...23	10^8	0,25	19	50*
ИВ-19	17×19	7000...10 000	60	120	6,3...7	300	32...40	10^8	0,25	22	32
ИВ-20	17×19	7000...10 000	60	120	6,3...7	300	32...40	10^8	0,25	22	32*

* Без выводов Длина выводов 35 40 мм

Таблица 3.73. **Порядок соединения электродов с выводами вакуумных накаливаемых индикаторов**

Тип индикатора	Порядок соединения электродов с выводами													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ИВ-9	O	H	—	B	C	—	A	F	G	—	D	E	—	—
ИВ-9	»	H	—	B	C	—	A	F	G	—	D	E	x	x
ИВ-10	»	—	—	C	B	И	—	K	—	x	x	x	x	x
ИВ-13	»	H	C	B	A	F	A	E	G	x	x	x	x	x
ИВ-14	»	—	C	B	И	G	—	—	—	x	x	x	x	x
ИВ-16	»	—	—	B	C	—	A	F	G	—	D	E	x	x
ИВ-16	»	—	—	B	C	—	A	F	G	—	D	E	—	—
ИВ-19	C	H	G	И	B	O	A	F	E	D	K	x	x	x
ИВ-20	C	H	G	И	B	O	A	F	E	D	K	x	x	x

Примечания 1 Отсчет выводов ведется от укороченного вывода для индикаторов ИВ-9 и ИВ-16 — вывод 12, ИВ-9, ИВ-10 и ИВ-16 — вывод 14, ИВ-20 — вывод 6 Для ИВ-19 отсчет ведется от увеличенного расстояния между ножками в 11-гнездной панели 2 Индикаторы ИВ-13 и ИВ-14 вставляются в 9-гнездную ламповую панель РШ8 (рис 3 12), остальные индикаторы бесцокольные

напряжение накала сегмента (действующее значение переменного или постоянного) $U_н$;

амплитудное значение импульсного напряжения накала сегмента $U_{н\,и}$;

ток накала $I_н$;

число переключений n;

время готовности τ — интервал времени от момента включения цепи подачи на индикатор напряжения питания до момента, когда контраст индикатора достигнет заданного значения.

Порядок соединения электродов с выводами приведен в табл. 3.73.

Приняты следующие условные обозначения: О — общий электрод; — — свободный вывод; х — вывод отсутствует; А, В, С, D, E, F, G, Н, И, К — наименование сегментов.

3.10. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

Полупроводниковый диод — полупроводниковый прибор с одним p-n-переходом и двумя выводами. Габаритные и присоединительные размеры полупроводниковых диодов, приведенных в справочнике, даны на рис. 3.18. Буквенные обозначения параметров даны в соответствии с ГОСТ 25529—82 «Диоды полупроводниковые. Термины, определения и буквенные обозначения параметров».

Выпрямительные диоды

Выпрямительный диод — полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный. Основные параметры выпрямительных диодов при нормальной температуре окружающей среды приведены в табл. 3.74, где $I_{пр\,ср}$ — средний прямой ток: среднее за период значение прямого тока через диод. Уменьшается с увеличением температуры окружающей среды (корпуса) и частоты следования тока; $I_{пр\,и}$ — импульсный прямой ток: наибольшее мгновенное значение прямого тока, исключая повторяющиеся и неповторяющиеся переходные токи; $U_{обр\,и\,п}$ — повторяющееся импульсное обратное напряжение: наибольшее мгновенное значение обратного напряжения, включая повторяющиеся переходные напряжения, но исключая неповторяющиеся переходные напряжения (уменьшается с увеличением температуры окружающей среды); $U_{обр\,max}$ — максимально допустимое постоянное обратное напряжение; $U_{пр\,и}$ — импульсное прямое напряжение: наибольшее мгновенное значение прямого напряжения, обусловленное импульсным прямым током заданного значения; $U_{пр}$ — постоянное прямое напряжение: постоянное значение прямого напряжения, обусловленное постоянным прямым током; $U_{пр\,ср}$ — среднее прямое напряжение: среднее за период значение прямого напряжения при заданном среднем прямом токе; $I_{сбр\,и}$ — импульсный обратный ток: наибольшее мгновенное значение обратного тока, обусловленного импульсным обратным напряжением; $I_{обр}$ — постоянный обратный ток, обусловленный постоянным обратным напряжением; $I_{обр\,ср}$ — средний обратный ток: среднее за период значение обратного тока; $t_{вос\,обр}$ — время обратного восстановления: время переключения диода с заданного прямого тока на заданное обратное напряжение от момента прохождения тока через нулевое значение до момента достижения обратным током заданного значения. Увеличивается с повышением прямого тока и температуры p-n-перехода (окружающей среды); f_{max} — максимально допустимая частота: наибольшая частота подводимого напряжения и импульсов тока, при которых обеспечивается надежная работа диода.

Универсальные и импульсные диоды

Универсальный и импульсный диод — полупроводниковый диод, имеющий малую длительность переходных процессов включения и выключения и предназначенный для применения в импульсных режимах работы. Основные

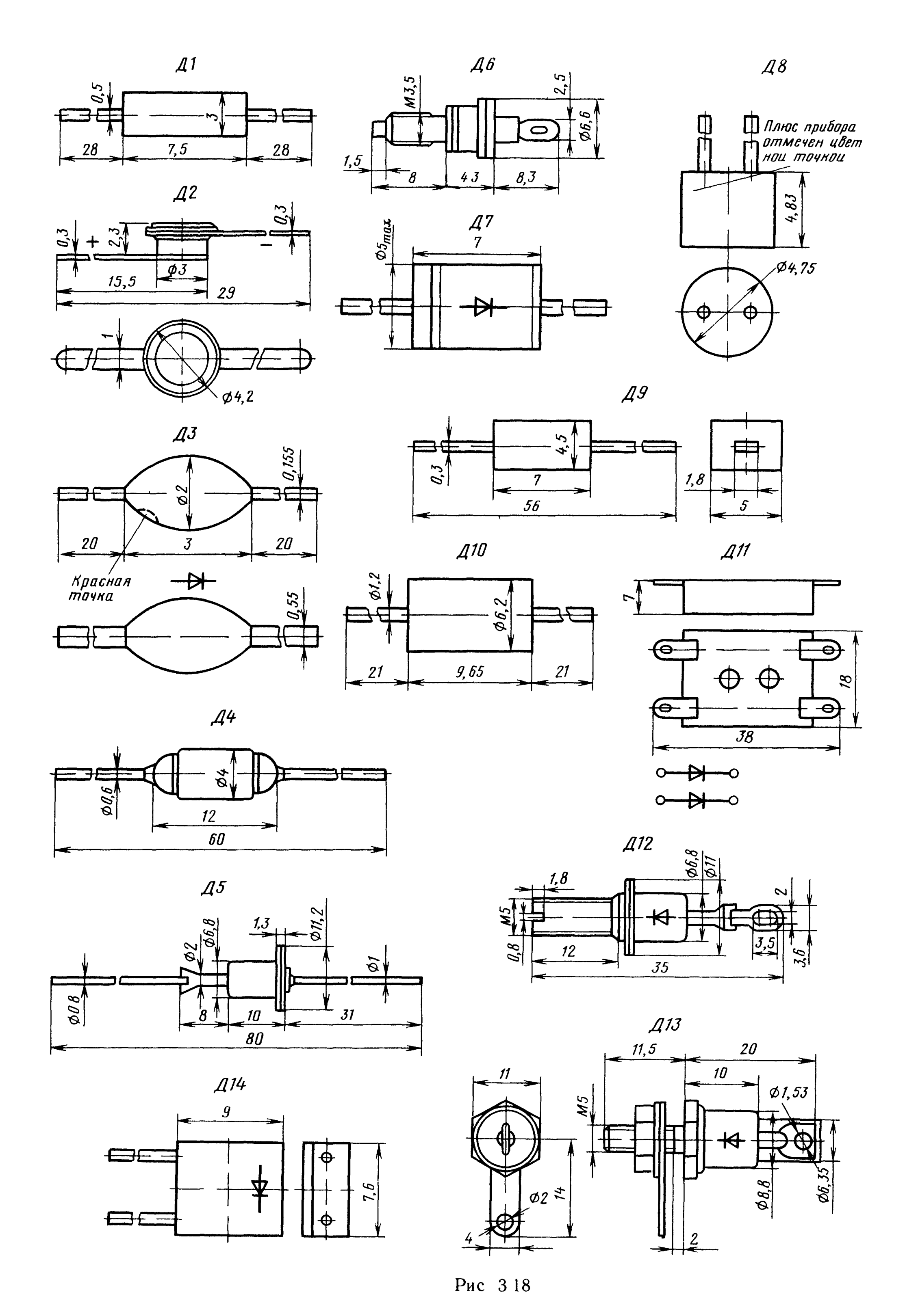

Д1
Д2
Д3
Д4
Д5
Д6
Д7
Д8
Д9
Д10
Д11
Д12
Д13
Д14
Плюс прибора отмечен цветной точкой
Красная точка

Рис 3 18

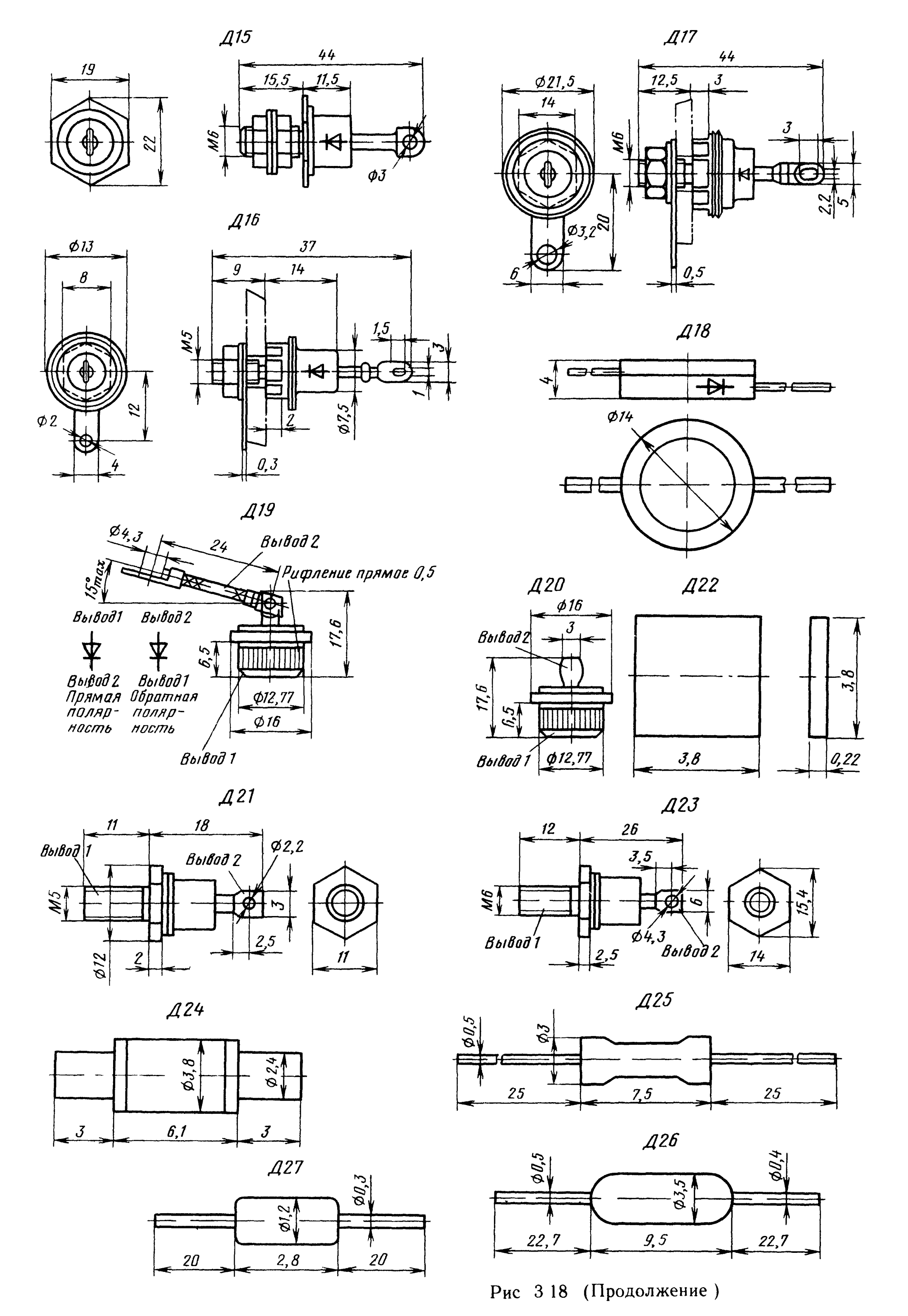


Рис 3 18 (Продолжение)

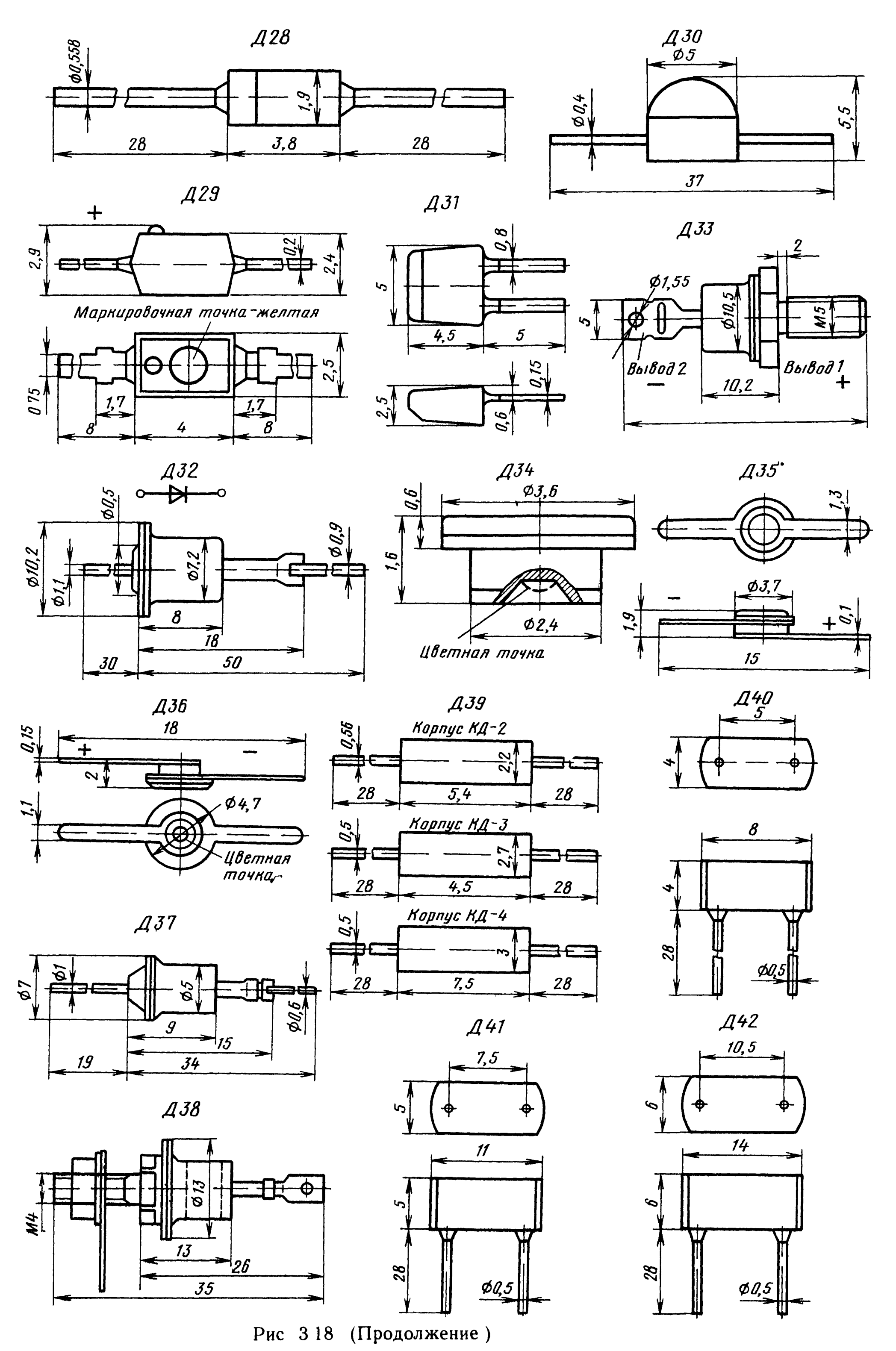


Рис 3 18 (Продолжение)

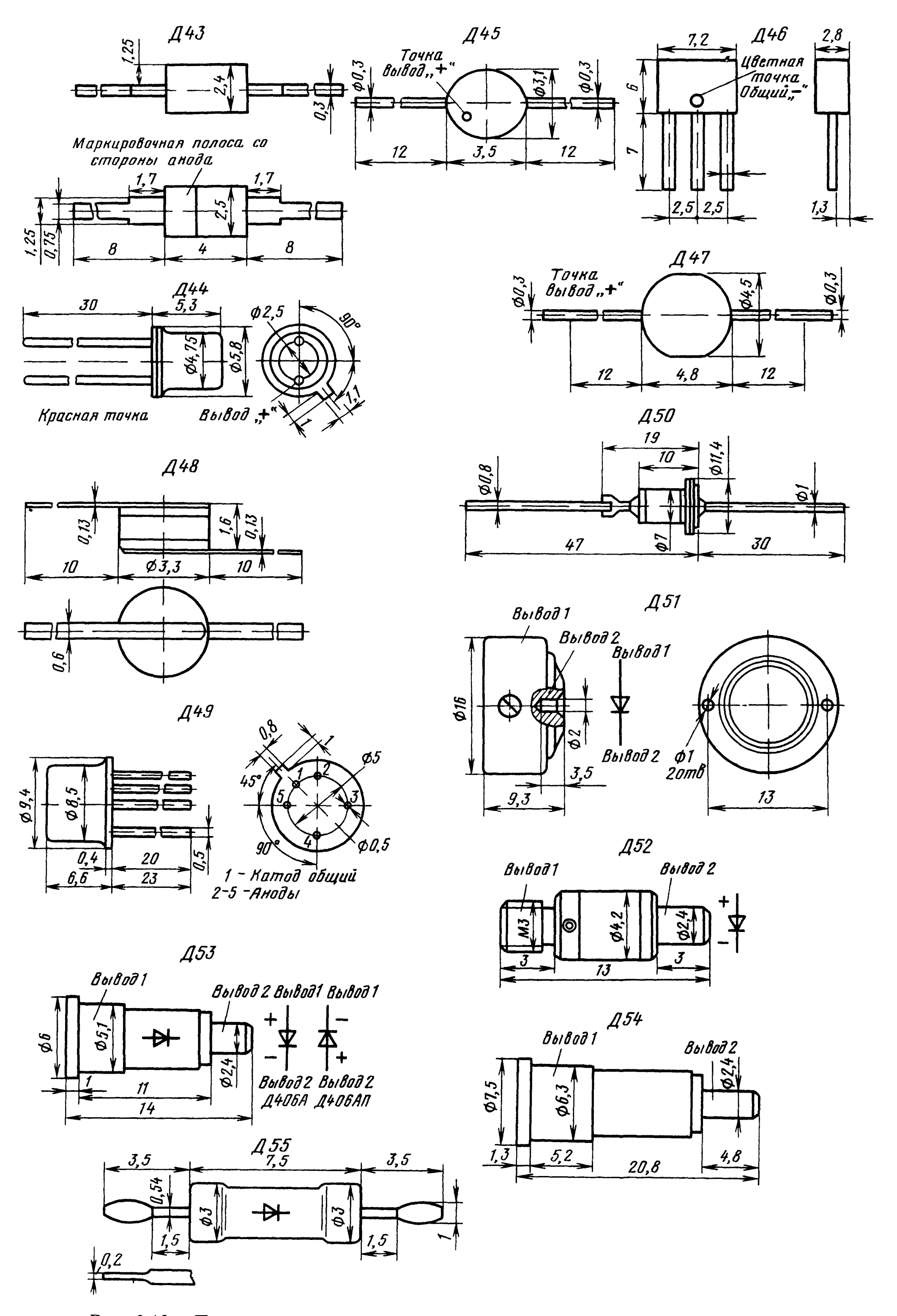


Рис 3 18 (Продолжение)

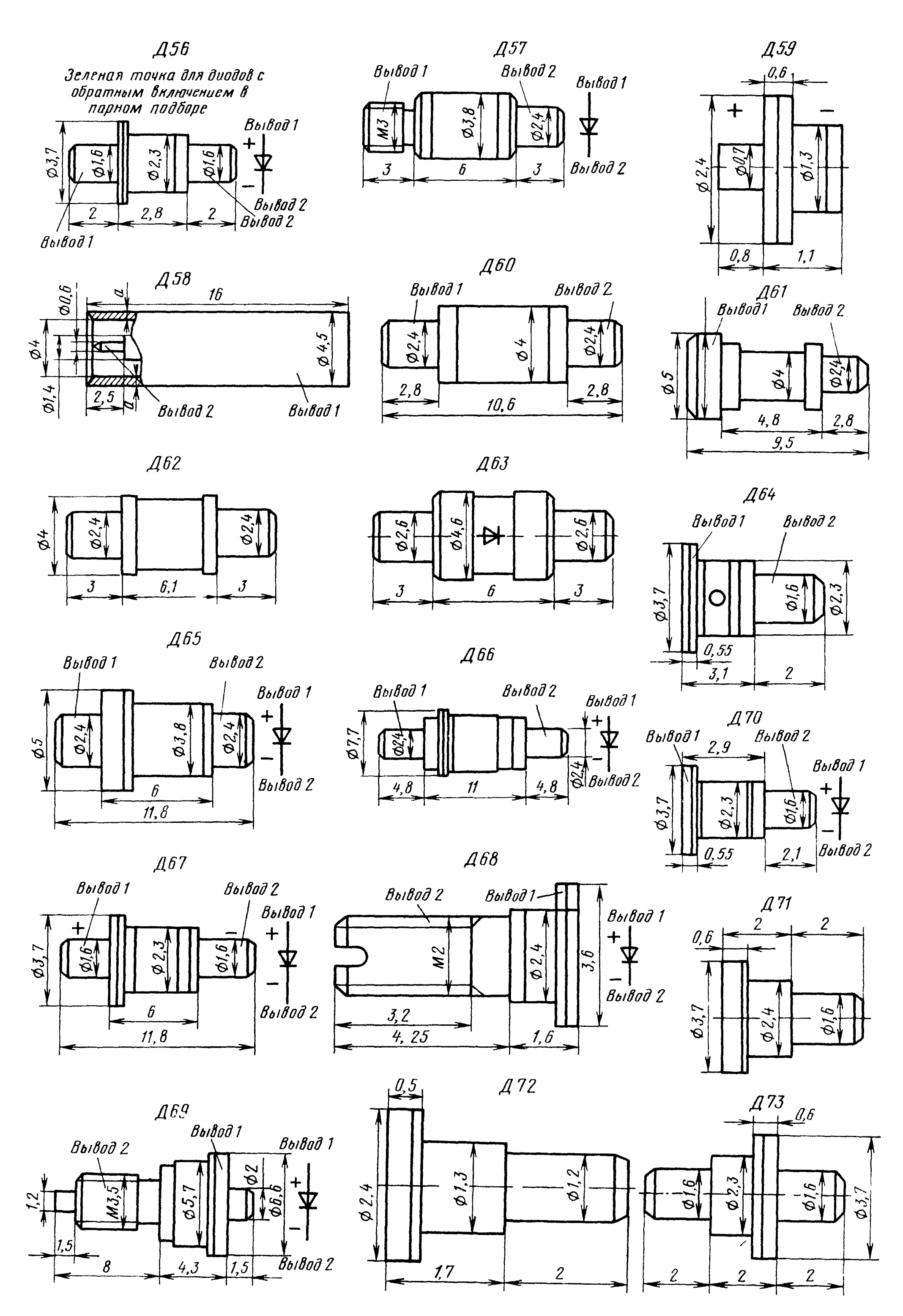


Рис 3 18. (Продолжение)

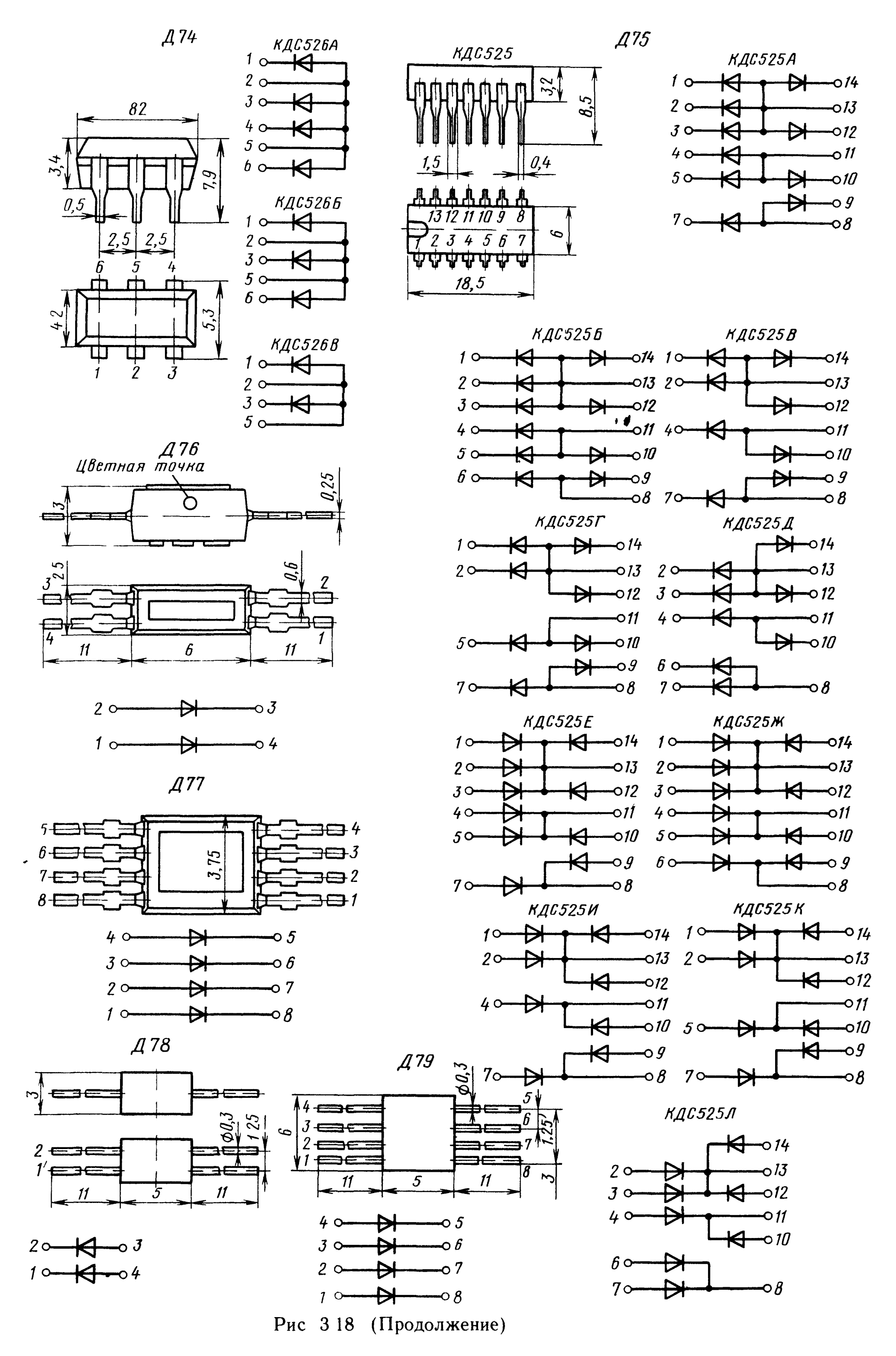


Рис 3 18 (Продолжение)

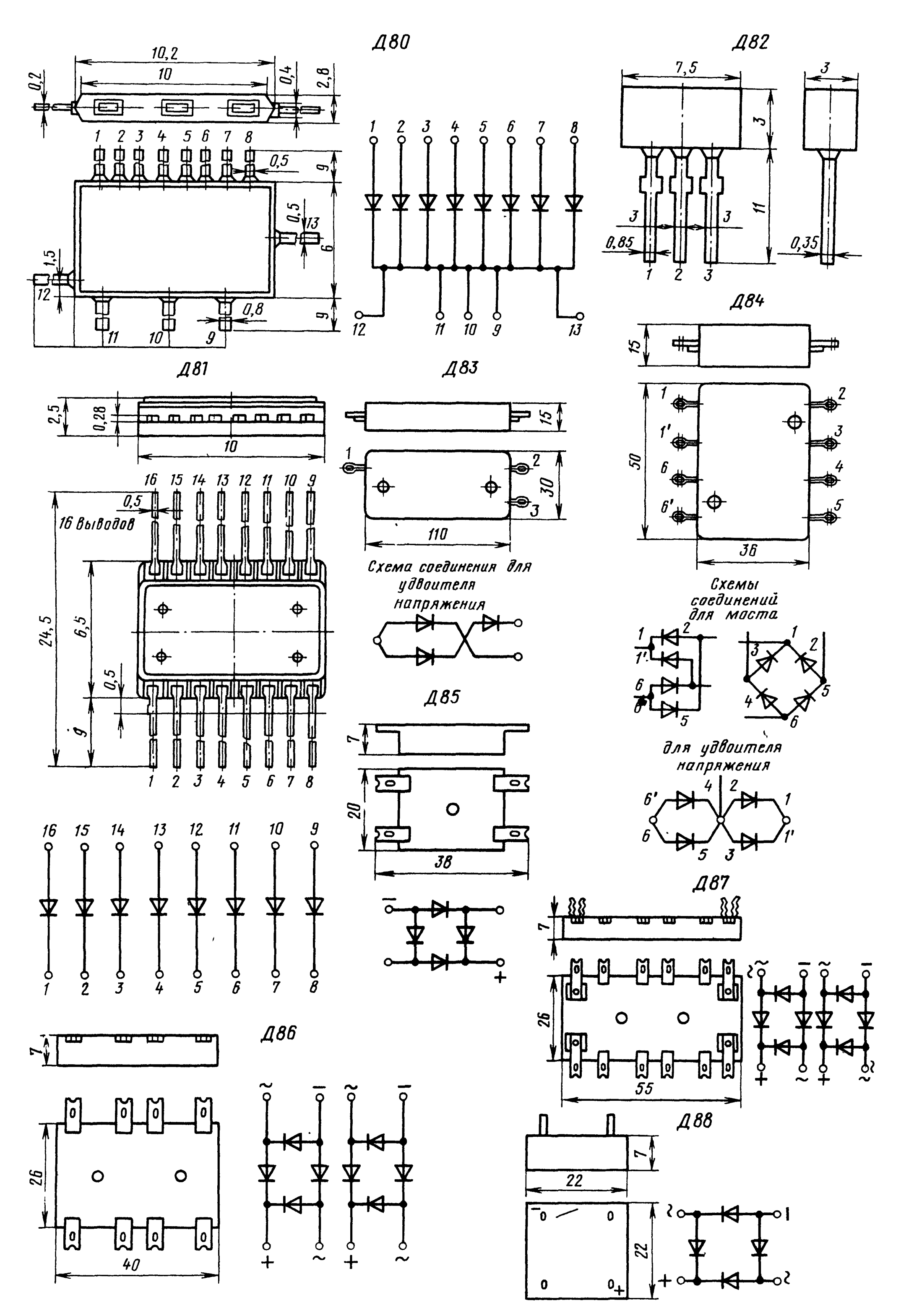


Рис. 3.18. (Продолжение.)

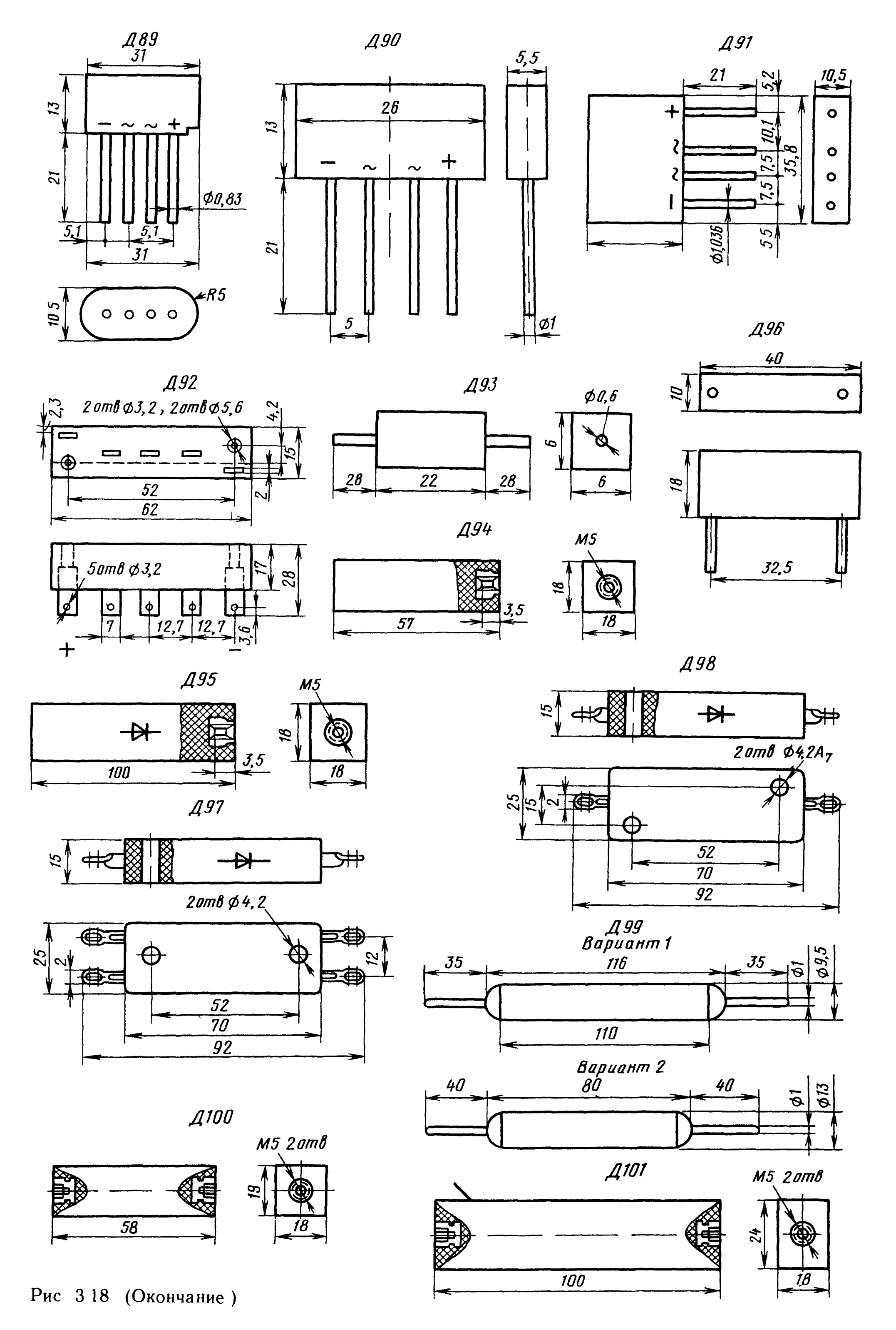


Рис 3 18 (Окончание)

Таблица 3.74 **Выпрямительные диоды**

Тип	$I_{пр\ ср}$, А	$I_{пр\ и}$, А	$U_{обр\ и\ п}$ ($U_{обр\ max}$), В	$U_{пр\ и}$ ($U_{пр}$, $U_{пр\ ср}$), В	$I_{пр\ и}$ ($I_{пр}$, $I_{пр\ ср}$), А	$I_{обр\ и}$ ($I_{обр}$, $I_{обр\ ср}$), мА	$t_{вос\ обр}$, мкс	f_{max} (f_{max}) — без снижения электрического режима, кГц	Масса, г	Корпус (рис 3 18)
Маломощные (на ток до 1 А)										
АД110А	0,01	—	50	(1,5)	(0,01)	(0,005)	10	(1000)	0,15	Д2
КД104А	0,01	1	300	(1)	(0,01)	(0,003)	4	(10)	0,1	Д3
ГД113А	0,015	0,048	115	(1)	(0,03)	(0,25)	—	—	0,3	Д1
ГД107А	0,02	—	(15)	(1)	(0,01)	(0,02)	—	—	0,3	Д1
ГД107Б	0,02	—	(20)	(0,4)	(0,0015)	(0,1)	—	—	0,3	Д1
Д106	0,03	—	30	(2)	(0,002)	(0,005)	0,5	(150)	0,53	Д4
Д106А	0,03	—	30	(1)	(0,001)	(0,005)	0,5	(150)	0,53	Д4
Д105	0,03	—	75	(2)	(0,002)	(0,005)	0,5	(150)	0,53	Д4
Д105А	0,03	—	75	(1)	(0,001)	(0,005)	0,5	(150)	0,53	Д4
Д104	0,03	—	100	(2)	(0,02)	(0,005)	0,5	(150)	0,53	Д4
Д104А	0,03	—	100	(1)	(0,001)	(0,005)	0,5	(150)	0,53	Д4
Д223	0,05	0,5	(50)	(1)	(0,05)	(0,001)	—	—	0,53	Д4
Д223А	0,05	0,5	(100)	(1)	(0,05)	(0,001)	—	—	0,53	Д4
Д223Б	0,05	0,5	(150)	(1)	(0,05)	(0,001)	—	—	0,53	Д4
КД103А	0,1	2	(50)	(1)	(0,05)	(0,001)	4	(20)	0,1	Д3
КД103Б	0,1	2	(50)	(1,2)	(0,05)	(0,001)	4	(20)	0,1	Д3
КД102А	0,1	2	(250)	(1)	(0,05)	(0,0001)	—	5	0,1	Д3
КД102Б	0,1	2	(300)	(1)	(0,05)	(0,001)	—	5	0,1	Д3
Д237В	0,1	10	600	(1)	(0,1)	(0,05)	—	(1)	2	Д5
МД217	0,1	—	800	(1)	(0,1)	(0,05)	—	(1)	2	Д5
МД218	0,1	—	1000	(1)	(0,1)	(0,05)	—	(1)	2	Д5
МД218А	0,1	—	1200	(1,1)	(0,1)	(0,05)	—	(1)	2	Д5
АД112А	0,3	—	(50)	(3)	(0,3)	(0,1)	—	—	1,5	Д6
КД106А	0,3	3	(100)	(1)	(0,3)	(0,01)	0,45	(30)	1	Д7
КД109А	0,3	—	100	(1)	(0,3)	(0,1)	—	—	1	Д8
МД226Е	0,3	—	200	(1)	(0,3)	(0,05)	—	(1)	2	Д5
Д226Е	0,3	—	200	(1)	(0,3)	(0,05)	—	(1)	2	Д5
Д237А	0,3	5	200	(1)	(0,3)	(0,05)	—	(1)	2	Д5
МД226А	0,3	—	300	(1)	(0,3)	(0,05)	—	(1)	2	Д5
Д226А	0,3	—	300	(1)	(0,3)	(0,05)	—	(1)	2	Д5
КД109Б	0,3	—	300	(1)	(0,3)	(0,1)	—	—	1	Д8
МД226	0,3	—	400	(1)	(0,3)	(0,05)	—	(1)	2	Д5
Д226	0,3	—	400	(1)	(0,3)	(0,05)	—	(1)	2	Д5
Д237Б	0,3	5	400	(1)	(0,3)	(0,05)	—	(1)	2	Д5
КД105Б	0,3	—	400	(1)	(0,3)	(0,1)	—	(1)	0,5	Д9
КД221В	0,3	—	400	(1,4)	(0,3)	(0,1)	1,5	(1)	0,5	Д10
КД205Е	0,3	0,8	500	(1)	(0,3)	(0,1)	—	(5)	6	Д11
КД105В	0,3	—	600	(1)	(0,3)	(0,1)	—	(1)	0,5	Д9
КД109В	0,3	—	600	(1)	(0,3)	(0,1)	—	—	1	Д8
КД221Г	0,3	—	600	(1,4)	(0,3)	(0,15)	1,5	(1)	0,5	Д10
КД205И	0,3	0,8	700	(1)	(0,3)	(0,1)	—	(5)	6	Д11
КД105Г	0,3	—	800	(1)	(0,3)	(0,1)	—	(1)	0,5	Д9
Д229В	0,4	—	100	(1)	(0,4)	(0,05)	—	(1)	3,5	Д12
Д229А	0,4	—	200	(1)	(0,4)	(0,05)	—	(1)	3,5	Д12
Д229Г	0,4	—	200	(1)	(0,4)	(0,05)	—	(1)	3,5	Д12
Д237Е	0,4	5	200	(1)	(0,4)	(0,05)	—	(1)	2	Д5
Д229Д	0,4	—	300	(1)	(0,4)	(0,05)	—	(1)	3,5	Д12
Д229Б	0,4	—	400	(1)	(0,4)	(0,05)	—	(1)	3,5	Д12
Д229Е	0,4	—	400	(1)	(0,4)	(0,05)	—	(1)	3,5	Д12
Д237Ж	0,4	5	400	(1)	(0,4)	(0,05)	—	(1)	2	Д5
КД204А	0,4	0,8	400	(1,4)	(0,6)	(0,15)	1,5	50	7,5	Д13
КД205Д	0,5	0,8	100	(1)	(0,5)	(0,1)	—	(5)	6	Д11
КД205Г	0,5	0,8	200	(1)	(0,5)	(0,1)	—	(5)	6	Д11
КД221Б	0,5	1	200	(1,4)	(0,5)	(0,05)	1,5	(1)	0,5	Д10
КД205В	0,5	0,8	300	(1)	(0,5)	(0,1)	—	(5)	6	Д11
КД205Б	0,5	0,8	400	(1)	(0,5)	(0,1)	—	(5)	6	Д11
КД205А	0,5	0,8	500	(1)	(0,5)	(0,1)	—	(5)	6	Д11

Продолжение табл. 3 74

Тип	$I_{пр\ ср}$, А	$I_{пр\ и}$, А	$U_{обр\ и\ п}$ ($U_{обр\ max}$), В	$U_{пр\ и}$ ($U_{пр}$, $U_{пр\ ср}$), В	$I_{пр\ и}$ ($I_{пр}$, $I_{пр\ ср}$), А	$I_{обр\ и}$ ($I_{обр}$, $I_{обр\ ср}$), мА	$t_{вос\ обр}$, мкс	f_{max} (f_{max}) — без снижения электрического режима, кГц	Масса, г	Корпус (рис 3 18)
КД205Ж	0,5	0,8	600	(1)	(0,5)	(0,1)	—	(5)	6	Д11
КД209Б	0,5	6	600	(1)	(0,5)	(0,1)	—	(1)	0,5	Д9
КД209В	0,5	6	800	(1)	(0,5)	(0,1)	—	(1)	0,5	Д9
КД204Б	0,6	1,2	200	(1,4)	(0,6)	(0,1)	1,5	50	7,5	Д13
Д229Ж	0,7	—	100	(1)	(0,7)	(0,05)	—	(1)	3,5	Д12
КД205К	0,7	0,8	100	(1)	(0,7)	(0,1)	—	(5)	6	Д11
КД221А	0,7	1,4	100	(1,4)	(0,7)	(0,05)	1,5	(1)	0,5	Д10
КД205Л	0,7	0,8	200	(1)	(0,7)	(0,1)	—	(5)	6	Д11
Д229И	0,7	—	200	(1)	(0,7)	(0,05)	—	(1)	3,5	Д12
Д229К	0,7	—	300	(1)	(0,7)	(0,05)	—	(1)	3,5	Д12
Д229Л	0,7	—	400	(1)	(0,7)	(0,05)	—	(1)	3,5	Д12
КД209А	0,7	6	400	(1)	(0,7)	(0,1)	—	(1)	0,5	Д9
Средней мощности (на ток от 1 до 10 А)										
КД204В	1	2	50	2	2	(0,05)	1,5	50	7,5	Д13
КД212В	1	50	100	(1)	(1)	(0,05)	0,5	(100)	1,5	Д14
КД212Г	1	50	100	(1,2)	(1)	(0,1)	0,5	(100)	1,5	Д14
Д302	1	—	200	(0,25)	(1)	(0,8)	—	(5)	16	Д15
КД212А	1	50	200	(1)	(1)	(0,05)	0,3	(100)	1,5	Д14
КД212Б	1	50	200	(1,2)	(1)	(0,1)	0,3	(100)	1,5	Д14
КД208А	1,5	—	100	(1)	(1)	(0,1)	—	(1)	0,7	Д9
КД226А	1,7	10	100	(1,4)	(1,7)	(0,05)	0,25	35	0,5	Д10
КД226Б	1,7	10	200	(1,4)	(1,7)	(0,05)	0,25	35	0,5	Д10
КД226В	1,7	10	400	(1,4)	(1,7)	(0,05)	0,25	35	0,5	Д10
КД226Г	1,7	10	600	(1,4)	(1,7)	(0,05)	0,25	35	0,5	Д10
КД226Д	1,7	10	800	(1,4)	(1,7)	(0,05)	0,25	35	0,5	Д10
Д303	3	—	150	(0,3)	(3)	(1)	—	(5)	16	Д15
КД202А	5	9	50	(0,9)	(5)	(0,8)	—	5	5,2	Д16
КД202В	5	9	100	(0,9)	(5)	(0,8)	—	5	5,2	Д16
Д214Б	5	—	100	(1,5)	(5)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д242Б	5	—	100	(1,5)	(5)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д304	5	—	100	(0,25)	(5)	(2)	—	(5)	16	Д15
Д215Б	5	—	200	(1,5)	(5)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д243Б	5	—	200	(1,5)	(5)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
КД202Д	5	9	200	(0,9)	(5)	(0,8)	—	5	5,2	Д16
КД202Ж	5	9	300	(0,9)	(5)	(0,8)	—	5	5,2	Д16
Д231Б	5	—	300	(1,5)	(5)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д245Б	5	—	300	(1,5)	(5)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д232Б	5	—	400	(1,5)	(5)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д246Б	5	—	400	(1,5)	(5)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
КД202К	5	9	400	(0,9)	(5)	(0,8)	—	5	5,2	Д16
Д233Б	5	—	500	(1,5)	(5)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д247Б	5	—	500	(1,5)	(5)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
КД202М	5	9	500	(0,9)	(5)	(0,8)	—	5	5,2	Д16
Д234Б	5	—	600	(1,5)	(5)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д248Б	5	—	600	(1,5)	(5)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
КД202Р	5	9	600	(0,9)	(5)	(0,8)	—	5	5,2	Д16
КД210А	5	25	800	(1)	(10)	(1,5)	—	5	7,5	Д13
КД210Г	5	50	1000	(1)	(10)	(1,5)	—	5	7,5	Д13
Д305	10	—	50	(0,3)	(10)	(2,5)	—	(5)	16	Д15
Д214	10	—	100	(1,2)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д214А	10	—	100	(1)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д242	10	—	100	(1,25)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д242А	10	—	100	(1)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
КД213Г	10	100	100	(1,2)	(10)	(0,2)	0,3	(100)	4	Д18
Д104-10	10	—	100	1,4	31,4	1	—	1,3	10,3	Д19
Д204-10	10	—	100	1,4	31,4	1	—	1,3	11,3	Д20
Д112-10-1...14	10	—	100...1400	1,35	31,4	0,4	5,9	2	6	Д21
Д215	10	—	200	(1,2)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17

Окончание табл. 3.74

Тип	$I_{пр\ ср}$, А	$I_{пр\ и}$, А	$U_{обр\ и\ п}$ ($U_{обр\ max}$), В	$U_{пр\ и}$ ($U_{пр}$, $U_{пр\ ср}$), В	$I_{пр\ и}$ ($I_{пр}$, $I_{пр\ ср}$), А	$I_{обр\ и}$ ($I_{обр}$, $I_{обр\ ср}$), мА	$t_{вос\ обр}$, мкс	f_{max} (f_{max}) — без снижения электрического режима, кГц	Масса, г	Корпус (рис 3.18)
Д215А	10	—	200	(1)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д243	10	—	200	(1,25)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д243А	10	—	200	(1)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
КД213А	10	100	200	(1)	(10)	(0,2)	0,3	(100)	4	Д18
КД213Б	10	100	200	(1,2)	(10)	(0,2)	0,17	(100)	4	Д18
КД213В	10	100	200	(1,2)	(10)	(0,2)	0,3	(100)	4	Д18
Д231	10	—	300	(1)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д231А	10	—	300	(1)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д245	10	—	300	(1,25)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д245А	10	—	300	(1)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д232	10	—	400	(1)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д232А	10	—	400	(1)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д246	10	—	400	(1,25)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д246А	10	—	400	(1)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
КД206А	10	100	400	(1,2)	(1)	(0,7)	10	20	7,5	Д13
ДЛ112-10-4...15	10	—	400...1500	1,35	31,4	0,4	5,9	2	6	Д21
Д233	10	—	500	(1)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
Д247	10	—	500	(1,25)	(10)	(3)	—	(1,1)	12	Д17
КД206Б	10	100	500	(1,2)	(1)	(0,7)	10	20	7,5	Д13
КД203А	10	100	600	(1)	(10)	(1,5)	—	5	12	Д17
КД206В	10	100	600	(1,2)	(1)	(0,7)	10	20	7,5	Д13
КД203Б	10	100	800	(1)	(10)	(1,5)	—	5	12	Д17
КД203В	10	100	800	(1)	(10)	(1,5)	—	5	12	Д17
КД210Б	10	50	800	(1)	(10)	(1,5)	—	5	7,5	Д13
КД203Г	10	100	1000	(1)	(10)	(1,5)	—	5	12	Д17
КД203Д	10	100	1000	(1)	(10)	(1,5)	—	5	12	Д17
КД210Г	10	50	1000	(1)	(10)	(1,5)	—	5	7,5	Д13
Мощные (на ток более 10 А)										
Д104-16	16	—	100	1,4	50,2	0,5	—	1,3	11,3	Д19
Д204-16	16	—	100	1,4	50,2	0,5	—	1,3	10,3	Д20
Д112-16-1...14	16	—	100...1400	1,35	50,2	0,4	6,3	2	6	Д21
ДЛ112-16-4...15	16	—	400...1500	1,35	50,2	0,4	6,3	2	6	Д21
КД2999В	20	100	100	(1)	(20)	(0,2)	0,2	100	4	Д18
КД2999Б	20	100	200	(1)	(20)	(0,2)	0,2	100	4	Д18
Д104-20	20	—	200	1,4	62,8	0,5	—	1,3	11,3	Д19
Д204-20	20	—	200	1,4	62,8	0,5	—	1,3	10,3	Д20
КД2999А	20	100	250	(1)	(20)	(0,2)	0,2	100	4	Д18
Д410-20	20	—	200	1,8	62,8	0,5	—	1,5	0,008	Д22
Д112-25-1...14	25	—	100...1400	1,35	78,5	0,4	6,7	2	6	Д21
ДЛ112-25-4...15	25	—	400...1500	1,35	78,5	0,4	6,7	2	6	Д21
КД2997В	30	100	100	(1)	(30)	(0,2)	0,2	100	4	Д18
КД2997Б	30	100	200	(1)	(30)	(0,2)	0,2	100	4	Д18
КД2997А	30	100	250	(1)	(30)	(0,2)	0,2	100	4	Д18
Д122-32-1...14	32	—	100...1400	1,35	102	0,4	7,1	2	12	Д23
ДЛ122-32-4...15	32	—	400...1500	1,35	102	0,4	7,1	2	12	Д23

параметры диодов при нормальной температуре окружающей среды приведены в табл. 3.75, где $C_д$ — общая емкость диода. При увеличении обратного напряжения емкость уменьшается.

Туннельные и обращенные диоды

Туннельный диод — полупроводниковый диод на основе вырожденного полупроводника, в котором туннельный эффект приводит к появлению на ВАХ при прямом направлении участка отрицательной дифференциальной проводимости. Наличие такого участка позволяет использовать туннельные диоды в усилителях, генераторах синусоидальных релаксационных колебаний и переключающих устройствах на частотах до сотен и тысяч мегагерц.

Обращенный диод — полупроводниковый диод на основе полупроводника с критической концентрацией примеси, в котором проводимость при обратном напряжении вследствие

Таблица 3.75. **Диоды универсальные и импульсные**

Тип	$I_{пр\ и}$, А	$I_{пр\ ср}$, мА	$U_{обр\ и\ п}$ ($U_{обр}$), В	$U_{пр}$ ($U_{пр\ и}$), В	$I_{пр}$ ($I_{пр\ и}$), А	$I_{обр}$, мкА	$t_{вос\ обр}$, мкс	$C_д$, пФ	$U_{обр}$, В	Масса, г	Корпус (рис 3 18)
АД516А	0,03	2	(10)	1,5	0,002	2	0,001	0,5	0	0,6	Д24
АД516Б	0,03	2	(10)	1,5	0,002	2	0,001	0,35	0	0,6	Д24
ГД508А	0,03	10	10	(1,5)	(0,012)	60	(20)	0,75	0,5	0,2	Д25
ГД508Б	0,03	10	10	(1,5)	(0,012)	100	(20)	0,75	0,5	0,2	Д25
КД514А	0,05	10	(10)	1	0,01	5	—	0,9	0	0,35	Д25
ГД511А	0,05	15	(12)	0,6	0,005	50	(100)	1	5	0,3	Д26
ГД511Б	0,05	15	(12)	0,6	0,005	100	(40)	1	5	0,3	Д26
ГД511В	0,05	15	(12)	0,6	0,005	200	(100)	1	5	0,3	Д26
КД520А	0,05	20	25	(2)	(0,02)	1	0,01	3	5	0,2	Д27
КД401А	0,092	30	75	1	0,005	5	2	1	5	0,53	Д4
КД401Б	0,092	30	75	1	0,005	5	2	1,5	5	0,53	Д4
ГД402А	0,1	30	(15)	0,45	0,015	50	—	0,8	5	0,21	Д25
ГД402Б	0,1	30	(15)	0,45	0,015	50	—	0,5	5	0,21	Д25
ГД507А	0,1	16	30	(4)	(0,05)	50	0,1	0,8	5	0,2	Д25
КД923А	0,2	0,1	14	0,34	0,001	5	—	3,6	0	0,3	Д1
КД512А	0,2	20	(15)	1	0,01	5	0,001	1	5	0,3	Д25
КД413А	0,2	20	24	1	0,02	—	—	0,7	0	0,035	Д27
КД413Б	0,2	20	24	1	0,02	—	—	0,7	0	0,035	Д27
КД503А	0,2	20	30	(2,5)	(0,05)	10	0,01	5	0	0,3	Д25
КД503Б	0,2	20	30	(3,5)	(0,05)	10	0,01	2,5	0	0,3	Д25
КД519А	0,3	30	40	1,1	0,1	5	(400)	4	0	0,2	Д25
КД519Б	0,3	30	40	1,1	0,1	5	(400)	2,5	0	0,2	Д25
КД521Д	0,5	50	15	1	0,05	1	0,004	4	0	0,15	Д28
КД407А	0,5	50	24	—	—	0,5	—	1	5	0,3	Д25
КД409А	0,5	50	24	—	—	0,5	—	2	15	0,16	Д29
КД521Г	0,5	50	40	1	0,05	1	0,004	4	0	0,15	Д28
КД521Б	0,5	50	75	1	0,05	1	0,004	4	0	0,15	Д28
КД521В	0,5	50	75	1	0,05	1	0,004	4	0	0,15	Д28
КД521А	0,5	50	100	1	0,05	1	0,004	4	0	0,15	Д28
КД410Б	0,5	50	(600)	(2)	0,05	3000	3	—	—	0,3	Д30
КД410А	0,5	50	(1000)	(2)	0,05	3000	3	—	—	0,3	Д30
КД518А	1,5	100	—	0,57	0,001	—	—	—	—	0,11	Д31
КД504А	1,5	160	40	(2)	(0,5)	2	(15)	20	5	0,7	Д4
КД522А	1,5	100	40	1,1	0,1	2	0,004	4	0	0,15	Д28
КД522Б	1,5	100	60	1,1	0,1	5	0,004	4	0	0,15	Д28
КД509А	1,5	100	70	1,1	0,1	5	0,004	4	0	0,25	Д25
КД510А	1,5	200	70	1,1	0,2	5	0,004	4	0	0,15	Д28
КД513А	1,5	100	70	1,1	0,1	5	0,004	4	0	0,11	Д31
КД416Б	15	0,3А	(200)	(3)	(15)	200	—	—	—	4	Д32
КД416А	15	0,3А	(400)	(3)	(15)	400	—	—	—	4	Д32
КД411Г	100	2А	400	2	1	100	1,5	—	—	4	Д32
КД412Г	100	10А	400	(3)	(100)	100	1,5	—	—	8	Д33
КД411В	100	2А	500	1,4	1	100	2,5	—	—	4	Д32
КД411Б	100	2А	600	1,4	1	100	1,5	—	—	4	Д32
КД412В	100	10А	600	(3)	(100)	100	1,5	—	—	8	Д33
КД411А	100	2А	700	1,4	1	100	2,5	—	—	4	Д32
КД412Б	100	10А	800	(3)	(100)	100	1,5	—	—	8	Д33
КД412А	100	10А	1000	(3)	(100)	100	1,5	—	—	8	Д33

туннельного эффекта значительно больше, чем при прямом напряжении.

Основные параметры туннельных и обращенных диодов приведены в табл. 3.76, где $I_п$ — пиковый ток: значение прямого тока в точке максимума ВАХ туннельного диода, при котором значение дифференциальной активной проводимости равно нулю; $I_в$ — ток впадины: значение прямого тока в точке минимума ВАХ туннельного диода, при котором значение дифференциальной активной проводимости равно нулю; $I_п/I_в$ — отношение пикового тока к току впадины, $U_п$ — напряжение пика: значение прямого напряжения, соответствующее пиковому току; $U_в$ — напряжение впадины: значение прямого напряжения, соответствующее току впадины; $U_{рр}$ — напряжение раствора: значение прямого напряжения на второй восходящей ветви ВАХ, при котором ток равен пиковому; $r_п$ — сопротивление потерь; $L_д$ — индуктивность диода.

Таблица 3.76. **Туннельные и обращенные диоды**

Тип	$I_п$, мА	$I_п/I_в$	$U_п$ ($U_{обр}$), мВ	$U_в$ ($U_{рр}$), В [ ]-типовое значение	$U_{пр}$, В	$I_{пр}$, мА	$I_{обр}$, мА	$r_п$, Ом	$C_д$, пФ	$L_д$, нГн	Масса, г	Корпус (рис 3 18)
					Усилительные							
АИ101А	0,75...1,25	5	160	—	0,55	—	—	18	4	1,3	0,15	Д2
АИ101Б	0,75...1,25	5	160	—	0,55	—	—	16	2..8	1,3	0,15	Д2
ГИ103А	1,3...1,7	4	60...90	[0,39]	0,4	1,5	1,5	6	1...2,1	0,27	0,08	Д34
ГИ103Б	1,3...1,7	4	60...90	[0,39]	0,4	1,5	1,5	6	0,8...1,6	0,27	0,08	Д34
ГИ103В	1,3...1,7	4	60...90	[0,39]	0,4	1,5	1,5	6	0,7...1,3	0,27	0,08	Д34
ГИ103Г	1,3...2,1	4	60...90	[0,39]	0,4	1,5	1,5	7	1...3,2	0,27	0,08	Д34
АИ101В	1,7...2,3	6	160	—	0,55	—	—	16	5	1,3	0,15	Д2
АИ101Д	1,7...2,3	6	160	—	0,55	—	—	14	2,5...10	1,3	0,15	Д2
АИ101Е	4,5...5,5	6	180	—	0,55	—	—	8	8	1,3	0,15	Д2
АИ101Ж	4,5...5,5	6	180	—	0,55	—	—	7	2...6	1,3	0,15	Д2
АИ101И	4,5...5,5	6	180	—	0,55	—	—	8	4,5..13	1,3	0,15	Д2
					Генераторные							
АИ201А	9...11	10	180	—	0,55	—	—	8	8	1,3	0,15	Д2
АИ201В	9...11	10	180	—	0,55	—	—	8	8	1,3	0,15	Д2
АИ201Г	18...22	10	200	—	0,55	—	—	5	10	1,3	0,15	Д2
АИ201Е	18...22	10	200	—	0,55	—	—	4	6...20	1,3	0,15	Д2
АИ201Ж	45...55	10	260	—	0,55	—	—	2,5	15	1,3	0,15	Д2
АИ201И	45...55	10	260	—	0,55	—	—	2,5	10...30	1,3	0,15	Д2
АИ201К	90...110	10	330	—	0,55	—	—	2,2	20	1,3	0,15	Д2
АИ201Л	90...110	10	330	—	0,55	—	—	2,2	10...50	1,3	0,15	Д2
					Переключательные							
АИ301А	1,6...2,4	8	180	(0,65)	—	1,2	—	—	12	1,5	0,15	Д2
ГИ307А	1,8...2,2	7	70	(0,4)	—	4	4	—	20	—	0,1	Д35
АИ301Б	4,5...5,5	8	180	(1)	—	1,2	—	—	25	1,5	0,15	Д2
АИ301В	4,5...5,5	8	180	(1,15)	—	2,7	—	—	25	1,5	0,15	Д2
ГИ304А	4,5...5,1	5	—	(0,42)	—	10	10	—	20	—	0,1	Д35
ГИ304Б	4,9...5,5	5	—	(0,42)	—	10	10	—	20	—	0,1	Д35
АИ301Г	9...11	8	180	(0,8)	—	5,5	—	—	50	1,5	0,15	Д2
ГИ305Г	9,1..10,1	5	85	(0,43)	—	20	20	—	30	—	0,1	Д35
ГИ305Б	9,8..11,1	5	85	(0,43)	—	20	20	—	30	—	0,1	Д35
					Обращенные переключательные							
ГИ401А	—	—	(90)	—	0,33	0,3	4	—	2,5	—	0,1	Д36
ГИ401Б	—	—	(90)	—	0,33	0,5	5,6	—	5	—	0,1	Д36
ГИ403А	0,1	—	(135)	—	0,35	10	10	—	8	—	0,1	Д35
АИ402Б	0,1	—	(250)	—	0,6	0,05	1	—	0,4	—	0,15	Д2
АИ402Г	0,1	—	(250)	—	0,6	0,05	1	—	8	—	0,15	Д2
АИ402Е	0,2	—	(250)	—	0,6	0,05	2	—	8	—	0,15	Д2
АИ402И	0,4	—	(250)	—	0,6	0,05	4	—	10	—	0,15	Д2

Стабилитроны и стабисторы

Стабилитрон — полупроводниковый диод, напряжение на котором в области электрического пробоя при обратном смещении слабо зависит от тока в заданном его диапазоне, предназначен для стабилизации напряжения.

Стабистор — полупроводниковый диод, напряжение на котором в области прямого смещения слабо зависит от тока в заданном его диапазоне, предназначен для стабилизации напряжения.

Основные параметры различных видов стабилитронов и стабисторов при нормальной температуре окружающей среды приведены в табл. 3.77, где $U_{ст}$ — напряжение стабилизации. значение напряжения при протекании тока стабилизации, $\delta_{U_{ст}}$ — временная нестабильность напряжения стабилизации: отношение наибольшего изменения напряжения стабилизации к начальному значению напряжения стабилизации за заданный интервал времени, $I_{ст}$ — ток стабилизации: значение постоянного тока, протекающего через стабилитрон в режиме стабилизации;

Таблица 3.77. **Стабилитроны и стабисторы**

Тип	$U_{ст}$, В	$\delta U_{ст}$, В	$I_{ст}$, мА	$I_{ст\,min}$, мА	$I_{ст\,max}$, мА	$P_{ст\,max}$, Вт	$U_{пр}$, В	$I_{пр}$, мА	$I_{обр}$, мкА	$U_{обр}$, В	$r_{ст}$, Ом	$I_{ст}$, мА	$\alpha_{U_{ст}}$, %/°C	Масса, г	Корпус (рис 3.18)
Стабилитроны общего назначения															
КС133А	3,3	±0,33	10	3	81	0,3	1	50	—	—	65	10	−0,11	1	Д37
КС133Г	3,3	±0,35	5	1	37,5	0,12	1	50	300	2,32	150	1	—	0,5	Д1
КС433А	3,3	±0,33	30	3	191	1	—	—	—	—	25	30	−0,1	1	Д37
КС139А	3,9	±0,39	10	3	70	0,3	1	50	—	—	60	10	−0,1	1	Д37
КС139Г	3,9	±0,4	5	1	32	0,12	1	50	300	2,73	150	1	—	0,5	Д1
КС439А	3,9	±0,39	30	3	176	1	—	—	—	—	25	3	−0,1	1	Д37
КС147А	4,7	±0,47	10	3	58	0,3	1	50	—	—	56	10	−0,05	1	Д37
КС147Г	4,7	±0,5	5	1	26,5	0,12	1	50	300	3,29	150	1	—	0,5	Д1
КС447А	4,7	±0,47	30	3	159	1	—	—	—	—	18	30	+0,03 −0,68	1	Д37
Д815А	5,6	±0,6	1000	50	1400	8	1,5	500	—	—	0,6	1000	0,045	6	Д38
КС156А	5,6	±0,56	10	3	55	0,3	1	50	—	—	46	10	±0,05	1	Д37
КС156Г	5,6	±0,6	5	1	22,4	0,12	1	50	300	3,92	100	1	—	0,5	Д1
КС456А	5,6	±0,56	30	3	139	1	—	—	—	—	10	30	0,05	1	Д37
Д815Б	6,8	±0,7	1000	50	1150	8	1,5	500	—	—	0,8	1000	0,05	6	Д38
КС168А	6,8	±0,68	10	3	45	0,3	1	50	—	—	28	10	±0,06	1	Д37
КС468А	6,8	±0,68	30	3	119	1	—	—	—	—	5	30	0,065	1	Д37
КС175Ж	7,5	±0,4	4	0,5	17	0,12	2	50	20	5,25	40	4	0,07	0,3	Д39
Д814А	8	±0,5 −1	5	3	40	0,34	1	50	0,1	1	6	5	0,07	1	Д37
Д815В	8,2	±0,9	1000	50	950	8	1,5	500	—	—	1	1000	0,07	6	Д38
КС182Ж	8,2	±0,8	4	0,5	15	0,12	2	50	20	5,74	40	4	0,08	0,3	Д39
КС482А	8,2	±0,82	5	1	96	1	1	50	20	5,74	25	5	0,1	1	Д37
Д814Б	9	±0,5 −1	5	3	36	0,34	1	50	0,1	10	10	5	0,08	1	Д37
КС191Ж	9,1	±0,5	4	0,5	14	0,125	2	50	20	6,37	40	4	0,09	0,3	Д39
Д814В	10	+0,5 −1	5	3	32	0,34	1	50	0,1	1	12	5	0,09	1	Д37
Д815Г	10	±1	500	25	800	8	1,5	500	—	—	1,8	500	0,08	6	Д38
КС210Ж	10	±1	4	0,5	13	0,125	2	50	20	7	40	4	0,09	0,3	Д39
КС510А	10	±1	5	1	79	1	1	50	20	7	25	5	0,1	1	Д37
Д814Г	11	±1	5	3	29	0,34	1	50	0,1	1	15	5	0,095	1	Д37
КС211Ж	11	±0,6	4	0,5	12	0,125	2	50	20	7,7	40	4	0,092	0,3	Д39
Д815Д	12	+1,3 −1,2	500	25	650	8	1,5	500	—	—	2	500	0,09	6	Д38
КС212Ж	12	±1 2	4	0,5	11	0,125	2	50	20	8,4	40	4	0,095	0,3	Д39
КС512А	12	±1,2	5	1	67	1	1	50	20	8,4	25	5	0,1	1	Д37
Д814Д	13	+1 −1,5	5	3	24	0,34	1	50	0,1	1	18	5	0,095	1	Д37
КС213Ж	13	±0,7	4	0,5	10	0,125	2	50	20	9,1	40	4	0,095	0,3	Д39
Д815Е	15	+1,4 −1,7	500	25	550	8	1,5	500	—	—	2,5	500	0,1	6	Д38
КС215Ж	15	±1,5	2	0,5	8,3	0,125	2	50	20	10,5	70	2	0,1	0,3	Д39
КС515А	15	±1,5	5	1	53	1	1	50	20	10,5	25	5	0,1	1	Д37
КС216Ж	16	±1,8	2	0,5	73	0,125	2	50	20	11,2	70	2	0,1	0,3	Д39
Д815Ж	18	±1,8	500	25	450	8	1,5	500	—	—	3	500	0,11	6	Д38
КС218Ж	18	±1,8	2	0,5	6,9	0,125	2	50	20	12,6	70	2	0,1	0,3	Д39
КС518А	18	±1,8	5	1	45	1	1	50	20	12,6	25	5	0,1	1	Д37
КС220Ж	20	±1	2	0,5	6,2	0,125	2	50	20	14	70	2	0,1	0,3	Д39
Д816А	22	+2,2 −2,4	150	10	230	5	1 5	500	50	15	7	150	0,12	6	Д38
КС222Ж	22	±2,2	2	0,5	5,7	0,125	2	50	20	15,2	70	2	0,1	0,3	Д39
КС522А	22	±2,2	5	1	37	1	1	50	20	15,4	25	5	0,1	1	Д37
Д816Б	27	+2,5 −2,8	150	10	180	5	1,5	500	50	19	8	150	0,12	6	Д38
КС527А	27	±2,7	5	1	30	1	1	50	20	18,9	40	5	0,1	1	Д37
Д816В	33	+3 −3,5	150	10	150	5	1	500	50	23	10	150	0,12	6	Д38
КС533А	33	±3,3	10	3	17	0,64	1	50	—	—	40	10	0,1	0,3	Д40
Д816Г	39	±3	150	10	130	5	1,5	500	50	27	12	150	0,12	6	Д38
Д816Д	47	±4,5	150	10	110	5	1 5	500	50	33	15	150	0,12	6	Д38
КС551А	51	±3	1,5	1	14,6	1	1	50	5	35,7	200	1,5	±0,12	1	Д37
Д817А	56	±5,5	50	5	90	2	1 5	500	50	39	35	50	0,12	6	Д38
Д817Б	68	±7	50	5	75	2	1 5	500	50	47	40	50	0,14	6	Д38
Д817В	82	±8	50	5	60	2	1,5	500	50	57	45	50	0,14	6	Д38
КС591А	91	±5	1,5	1	8,8	1	1	50	5	63,7	400	1,5	±0,12	1	Д37
Д817Г	100	±10	50	5	50	2	1,5	500	50	70	50	50	0,14	6	Д38
КС600А	100	±5	1,5	1	8,1	1	1	50	5	70	450	1,5	±0,12	1	Д37
КС620А	120	±18	50	5	42	5	1,5	500	500	84	150	50	+0,2	6	Д38
КС630А	130	±18,5	50	5	38	5	1,5	500	500	91	180	50	+0,2	6	Д38
КС650А	150	±22,5	25	2,5	33	5	1,5	500	500	105	255	25	+0,2	6	Д38
КС680А	180	±27	25	2,5	28	5	1,5	500	500	126	330	25	+0,2	6	Д38
Стабилитроны прецизионные															
КС405А	6,2	±0,31	0,5	0,1	60	0,4	—	—	—	—	200	0,5	0,002	0,3	Д39
КС108А	6,4	±0,32	7,5	3	10	0,07	—	—	—	—	15	7,5	0,002	0,5	Д1
КС108Б	6,4	±0,32	7,5	3	10	0,07	—	—	—	—	16	7,5	0,001	0,5	Д1
КС108В	6,4	+0,32	7,5	3	10	0,07	—	—	—	—	15	7,5	0,0005	0,5	Д1

Окончание табл 3 77

Тип	$U_{ст}$, В			$I_{ст\,min}$, мА	$I_{ст\,max}$, мА	$P_{ст\,max}$, Вт			$I_{обр}$ мкА		$r_{ст}$, Ом		$\alpha_{U_{ст}}$, %/°C	Масса, г	Корпус (рис 3 18)
		$\delta_{U_{ст}}$ В	$I_{ст}$, мА				$U_{пр}$, В	$I_{пр}$, мА		$U_{обр}$, В		$I_{ст}$, мА			
КС166А	6,6	±0,33	7,5	3	10	0,07	—	—	—	—	20	7,5	0,002	0,5	Д1
КС166Б	6,6	±0,33	7,5	3	10	0,07	—	—	—	—	20	7,5	0,001	0,5	Д1
КС166В	6,6	±0,33	7,5	3	10	0,07	—	—	—	—	20	7,5	0,0005	0,5	Д1
КС190Б	9	±0,45	10	5	15	0,15	—	—	—	—	15	10	0,005	1	Д37
КС190В	9	±0,45	10	5	15	0,15	—	—	—	—	15	10	0,002	1	Д37
КС190Г	9	±0,45	10	5	15	0,15	—	—	—	—	15	10	0,001	1	Д37
КС190Д	9	±0,45	10	5	15	0,15	—	—	—	—	15	10	0,0005	1	Д37
КС191М	9,1	±0,455	10	5	15	0,15	—	—	—	—	18	10	0,005	1	Д37
КС191Н	9,1	±0,455	10	5	15	0,15	—	—	—	—	18	10	0,002	1	Д37
КС191П	9,1	±0,455	10	5	15	0,15	—	—	—	—	18	10	0,001	1	Д37
КС191Р	9,1	±0,455	10	5	15	0,15	—	—	—	—	18	10	0,0005	1	Д37
КС191С	9,1	±0,455	10	3	20	0,2	—	—	—	—	18	10	0,005	1	Д37
КС191Т	9,1	±0,455	10	3	20	0,2	—	—	—	—	18	10	0,0025	1	Д37
КС191У	9,1	±0,455	10	3	20	0,2	—	—	—	—	18	10	0,001	1	Д37
КС191Ф	9,1	±0,455	10	3	20	0,2	—	—	—	—	18	10	0,0005	1	Д37
КС211Б	11	±1,6	10	5	33	0,28	—	—	—	—	15	10	+0,02	13	Д40
КС211В	11	—1,7	10	5	33	0,28	—	—	—	—	15	10	—0,02	13	Д40
КС211Г	11	±1,1	10	5	33	0,28	—	—	—	—	15	10	±0,01	13	Д40
КС211Д	11	+1,1	10	5	33	0,28	—	—	—	—	15	10	±0,005	13	Д40
КС515Г	15	±0,75	10	3	31	0,5	—	—	—	—	25	10	0,005	0,8	Д41
КС520В	20	±1	5	3	22	0,5	—	—	—	—	120	5	0,001	0,8	Д41
КС524Г	24	±1,2	10	3	19	0,5	—	—	—	—	40	10	0,005	0,8	Д41
КС531В	31	±1,55	10	3	15	0,5	—	—	—	—	50	10	0,005	0,8	Д41
КС539Г	39	±2	10	3	17	0,72	—	—	—	—	65	10	0,005	1,3	Д42
КС547В	47	+2,35	5	3	10	0,5	—	—	—	—	280	5	0,001	0,8	Д41
КС568В	68	±3,4	5	3	10	0,72	—	—	—	—	400	5	0,001	1,3	Д42
КС582Г	82	±4,1	10	3	8	0,72	—	—	—	—	480	10	0,01	1,3	Д42
КС596В	96	±4,8	5	3	7	0,72	—	—	—	—	560	5	0,001	1,3	Д42
Стабилитроны импульсные															
КС175Е	7,5	±0,4	5	3	17	0,125	1,5	20	50	6,0	30	5	±0,1	0,7	Д39
КС182Е	8,2	±0,8	5	3	15	0,125	1,5	20	50	6,5	30	5	±0,1	0,7	Д39
КС191Е	9,1	±0,5	5	3	14	0,125	1,5	20	50	7	30	5	±0,1	0,7	Д39
КС210Е	10	±1	5	3	13	0,125	1,5	20	50	8	30	5	±0,1	0,7	Д39
КС211Е	11	±0,6	5	3	12	0,125	1,5	20	50	8,5	30	5	±0,1	0,7	Д39
КС212Е	12	±1,2	5	3	11	0,125	1,5	20	50	9,5	30	5	±0,1	0,7	Д39
КС213Е	13	±0,7	5	3	10	0,125	1,5	20	50	10	30	5	±0,1	0,7	Д39
Стабилитроны двуханодные															
КС162А	6,2	±0,4	10	3	22	0,15	—	—	500	4,96	35	10	—0,06	0,3	Д40
КС168В	6,8	±0,5	10	3	20	0,15	—	—	400	5,44	28	10	±0,05	0,3	Д40
КС170А	7	±0,35	10	3	20	0,15	—	—	40	5,6	20	10	±0,01	0,3	Д40
КС175А	7,5	±0,5	5	3	18	0,15	—	—	300	6	16	5	±0,04	0,3	Д40
КС182А	8,2	±0,6	5	3	17	0,15	—	—	100	6,56	14	5	+0,05	0,3	Д40
КС191А	9,1	±0,6	5	3	15	0,15	—	—	80	7,28	18	5	+0,06	0,3	Д40
КС210Б	10	±0,7	5	3	14	0,15	—	—	60	8	20	5	+0,07	0,3	Д40
КС213Б	13	±0,9	5	3	10	0,15	—	—	80	10,4	25	5	+0,08	0,3	Д40
Стабисторы															
КС107А	0,7	+0,03 —0,13	10	1	100	0,125	—	—	1,5	1	7	10	—0,3	1	Д37
КС113А	1,3	±0,13	10	1	100	0,18	—	—	0,1	1	12	10	—0,3	1	Д37
КС119А	1,9	±0,19	10	1	100	0,18	—	—	0,1	1	15	10	—0,4	1	Д37

$P_{ст\,max}$ — максимально допустимая мощность стабилизации; $r_{ст}$ — дифференциальное сопротивление стабилитрона: отношение приращения напряжения стабилизации к вызывающему его приращению тока стабилизации; $\alpha_{U_{ст}}$ — температурный коэффициент напряжения стабилизации: отношение относительного изменения напряжения стабилизации к абсолютному изменению температуры окружающей среды при постоянном значении тока стабилизации.

Варикапы

Варикап — полупроводниковый диод, действие которого основано на использовании зависимости емкости от обратного напряжения, предназначен для применения в качестве элемента с электрически управляемой емкостью. Основные параметры варикапов при нормальной температуре окружающей среды приведены в табл. 3.78, где $C_в$ — емкость варикапа; K_C — коэффициент перекрытия по емкости: отношение общих емкостей варикапа при двух заданных значениях обратного напряжения; $Q_в$ — добротность варикапа: отношение реактивного сопротивления варикапа на заданной частоте к сопротивлению потерь при заданной емкости или обратном напряжении; $P_в$ — рассеиваемая мощность варикапа.

Сверхвысокочастотные диоды

Сверхвысокочастотный диод — полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования и обработки сверхвысокочастотного сигнала.

Таблица 3.78. **Варикапы**

Тип	$C_в$, пФ			K_C		$Q_в$			$I_{обр}$, мкА	$U_{обр\,max}$, В	$P_в$, Вт	Масса, г	Корпус (рис. 3.18)
		$U_{обр}$, В	f, МГц		$U_{обр}$, В		$U_{обр}$, В	f, МГц					
КВ122В	1,9...3,1	25	1	4...6	3...25	300	25	50	0,2	30	0,1	0,069	Д29
КВ109Б	2...2,3	25	1...10	4,5...6,5	3...25	300	3	50	0,5	25	0,005	0,06	Д29
КВ122Б	2...2,3	25	1	4,5. 6,5	3.. 25	450	25	50	0,2	30	—	0,069	Д29
КВ109А	2,3...2,8	25	1...10	4...5,5	3...25	300	3	50	0,5	25	0,005	0,06	Д29
КВ122А	2,3...2,8	25	1	4...5,5	3. .25	450	25	50	0,2	30	—	0,069	Д29
КВ123А	2,6...3,8	25	1.. 10	6,8	3. .25	250	25	50	0,05	28	—	0,06	Д43
КВ121А	4,3...6	25	1...10	7,6	1,5 ..25	200	25	50	0,5	30	—	0,069	Д29
КВ121Б	4,3...6	25	1...10	7,6	1,5...25	150	25	50	0,5	30	—	0,069	Д29
КВ109В	8...16	3	1...10	4...6	3...25	160	3	50	0,5	25	0,005	0,06	Д29
КВ109Г	8...17	3	1...10	4	3...25	160	3	50	0,5	25	0,005	0,06	Д29
КВ107А	10...40	2...9	1...10	—	—	20	—	10	100	16	0,1	1	Д44
КВ107Б	10...40	6...18	1...10	—	—	20	—	10	100	31	0,1	1	Д44
КВ129А	10,8	5	1...10	4	0..15	4000	—	1	0,5	25	—	0,04	Д43
КВ110А	12...18	4	1...10	2,5	4. .45	300	4	50	1	45	0,1	0,25	Д25
КВ110Г	12.. 18	4	1 . 10	2,5	4. .45	150	4	50	1	45	0,1	0,25	Д25
КВ102А	14...23	4	1 10	—	—	40	4	50	1	40	0,09	0,1	Д45
КВ110Б	14,4...21,6	4	1 10	2,5	4...45	300	4	50	1	45	0,1	0,25	Д25
КВ110Д	14,4...21,6	4	1 .10	2,5	4...45	150	4	50	1	45	0,1	0,25	Д25
КВ106Б	15...35	4	1...10	—	—	60	4	50	20	90	5	15	Д13
КВ110В	17,6...26,4	4	1...10	2,5	4...45	300	4	50	1	45	0,1	0,25	Д25
КВ110Е	17,6...21,6	4	1...10	2,5	4...45	150	4	50	1	45	0,1	0,25	Д25
КВ103А	18...32	4	1...10	—	—	50	1	50	10	80	5	15	Д13
КВ134А	18...22	1	1...10	2	1..10	400	4	50	0,05	23	—	0,07	Д43
КВ102Б	19 .30	4	1...10	—	—	40	4	50	1	40	0,09	0,1	Д45
КВ102Г	19...30	4	1...10	—	—	100	4	50	1	40	0,09	0,1	Д45
КВ102Д	19. .30	4	1...10	—	—	40	4	50	1	80	0,09	0,1	Д45
КВ106А	20...50	4	1...10	—	—	40	4	50	20	120	7	15	Д13
КВ128А	22...28	1	1...10	1,9	1...9	300	1	50	0,05	12	—	0,04	Д43
КВ102В	25...40	4	1...10	—	—	40	4	50	1	40	0,09	0,1	Д45
КВ117А	26,4...39,6	3	1...10	5...7	3...25	180	—	50	1	25	0,1	0,25	Д25
КВ117Б	26,4...39,6	3	1...10	4...7	3 ..25	150	—	50	1	25	0,1	0,25	Д25
КВ103Б	28...48	4	1...10	—	—	40	4	50	10	80	5	15	Д13
КВ107В	30...65	2...9	1...10	—	—	20	—	10	100	16	0,1	1	Д44
КВ107Г	30...65	6...18	1...10	—	—	20	—	10	100	31	0,1	1	Д44
КВС111А	36,3	4	1	2,1	4...30	200	4	50	1	30	—	0,2	Д46
КВС111Б	36,3	4	1	2,1	4. .30	150	4	50	1	30	—	0,2	Д46
КВ132А	38	1,6	1...10	3,5	2 5	300	4	50	0,05	12	—	0,07	Д43
КВ104А	90...120	4	1...10	—	—	100	4	10	5	45	0,1	0,2	Д47
КВ104Г	95...143	4	1. .10	—	—	100	4	10	5	45	0,1	0,2	Д47
КВ104Е	95...143	4	1 ..10	—	—	150	4	10	5	45	0,1	0,2	Д47
КВ115А	100...700	0	—	—	—	—	—	—	0,1	100	—	1	Д25
КВ115Б	100...700	0	—	—	—	—	—	—	0,05	100	—	1	Д25
КВ115В	100...700	0	—	—	—	—	—	—	0,01	100	—	1	Д25
КВ104Б	106...144	4	1...10	—	—	100	4	10	5	45	0,1	0,2	Д47
КВ104В	128...192	4	1...10	—	—	100	4	10	5	45	0,1	0,2	Д47
КВ104Д	128...192	4	1...10	—	—	100	4	10	5	80	0,1	0,2	Д47
КВ119А	168...252	1	1...10	18	1...10	100	1	1	1	10	—	0,3	Д25
КВ101А	200+40	0,8	—	—	—	150	4	1	1	4	—	0,05	Д48
КВС120А	230...320	1	1...10	2	1...30	100	1	1	0,5	32	—	1,7	Д49
КВ127А	230...280	1	1...10	20	1...30	140	1	10	0,5	32	—	0,07	Д43
КВ127В	230...260	1	1...10	20	1...30	140	1	10	0,5	32	—	0,07	Д43
КВ127Г	230...320	1	1...10	20	1. .30	140	1	10	0,5	32	—	0,07	Д43
КВ127Б	260...320	1	1...10	20	1...30	140	1	10	0,5	32	—	0,07	Д43
КВ105А	400...600	4	1	4	4...90	500	4	1	20	90	0,15	2,5	Д50
КВ105Б	400...600	4	1	3	4...50	500	4	1	20	50	0,15	2,5	Д50
КВ135А	486...594	1	1...10	20	1 10	200	1	1	0,5	13	—	0,15	Д43

Примечание. Разброс значений емкости варикапов в сборках не превышает 2...5 %.

Смесительный диод — СВЧ диод, предназначенный для преобразования высокочастотных сигналов в сигнал промежуточной частоты. Основные параметры смесительных диодов при нормальной температуре окружающей среды приведены в табл. 3.79, где $P_{рас.\,и\,max}$ — импульсная рассеиваемая мощность СВЧ диода: сумма рассеиваемой СВЧ диодом мощности от всех источников в импульсном режиме работы; λ — длина волны; $L_{прб}$ — потери преобразования: отношение мощности СВЧ сигнала на входе диодной камеры к мощности сигнала промежуточной частоты в нагрузке смесительного диода в рабочем режиме; $I_{вп}$ — выпрямленный ток СВЧ диода: постоянная составляющая тока СВЧ диода в рабочем режиме; $K_{ст\,U}$ — коэффициент стоячей волны по напряжению: коэффициент стоячей волны по напряжению в линии передачи СВЧ, нагруженной на определенную диодную камеру с СВЧ диодом в рабочем режиме; $N_ш$ — выходное шумовое отношение: отношение мощности шума СВЧ диода в рабочем режиме, отдаваемой в согласованную нагрузку, к мощности тепловых шумов согласованного активного сопротивления при той же температуре и одинаковой полосе частот; $r_{вых}$ — выходное сопротивление: активная составляющая полного сопротивления смесительного диода на промежуточной частоте в заданном режиме; $P_{пд}$ — падающая на диод СВЧ мощность; $F_{норм}$ — нормированный коэффициент шума: значение коэффициента шума приемного устройства со смесительным диодом на входе при коэффициенте шума усилителя промежуточной частоты, равном 1,5 дБ.

Таблица 3.79. **Сверхвысокочастотные диоды смесительные**

Тип	$P_{рас\ и\ max}$, мВт			λ, см	$L_{проб}$, $I_{вп}$, $K_{ст\ U}$, $N_ш$, $r_{вых}$ при $P_{пд}$						$F_{норм}$, дБ	Масса, г	Корпус (рис 3 18)
		$τ_и$, мкс	Q (F, Гц)		$L_{прб}$, дБ	$I_{вп}$, мА	$K_{ст\ U}$	$N_ш$	$r_{вых}$, Ом	$P_{пд}$, мВт			
Д402	15	—	500	—	10	—	3	2,5	250...650	1	—	10	Д51
Д404	15	—	500	—	8,5	—	2,5	2,5	280...520	1	—	10	Д51
Д407	20	—	500	—	12	—	3	6	400...1500	1	—	12,1	Д51
ДГ-С1	80	—	—	10	8,5	0,4	3	3	—	0,5	—	0,7	Д52
ДГ-С2	80	—	—	10	6,5	0,4	3	3	—	0,5	—	0,7	Д52
ДК-С7М	100	1	1000	3...12	7,5	—	2	2	250...700	0,7	—	0,7	Д52
Д406А	100	—	—	—	7	0,7	2	2	240...460	1	—	1,5	Д53
Д406АП	100	—	—	—	7	0,7	2	2	240...460	1	—	1,5	Д53
Д403Б	150	—	—	3...12	8,5	—	—	3	200...600	1	—	0,7	Д52
Д403В	150	—	—	3...12	—	0,4	3	—	200...600	1	11	0,7	Д52
ДК-С1М	300	—	—	10	8,5	0,4	3,5	2,7	—	1	—	2,5	Д54
ДК-С2М	300	—	—	10	6,5	0,4	3	2	—	1	—	2,5	Д54
Д405	300	—	—	3,2	7	1	2	2,2	250...550	1	—	2,5	Д54
Д405А	300	—	—	3,2	6,5	1	1,7	2	300...500	1	—	2,5	Д54
Д405Б	300	—	—	3,2	—	1	1,4	—	300...450	1	8,5	2,5	Д54
Д405АП	300	—	—	3,2	6,5	1	1,7	2	300...500	1	—	2,5	Д54
Д405БП	300	—	—	3,2	—	1	1,4	—	300...450	1	8,5	2,5	Д54
Д409А	300	—	—	3,2	7,5	0,2...0,5	1,7	21	350...575	0,2	—	3	Д54
Д409АП	300	—	—	3,2	7,5	0,2...0,5	1,7	21	350...575	0,2	—	3	Д54
КА104А	300	1	(1000)	8...60	6,5	0,5	1,5	—	340...560	0,5	8,5	0,15	Д55
КА104Б	300	1	(1000)	8...60	6,5	0,5	1,5	—	340...560	0,5	8,5	0,15	Д55
АА112А	300	—	—	3,2	6	1...2,5	1,3	—	440...640	3	7	0,035	Д1
АА112Б	300	—	—	3,2	6	1...2,5	1,8	—	440...640	3	7	0,035	Д1
Д408	500	7	100	10	—	0,8	1,3	—	290...300	0,5	7,5	2,7	Д54
Д408П	500	7	100	10	—	0,8	1,3	—	290...300	0,5	7,5	2,7	Д54
АА111А	550	1	(1000)	3,2	6	1...2,5	1,5	—	300...560	3	7,5	0,2	Д56
АА111Б	550	1	(1000)	3,2	5,5	1...2,5	1,5	—	300...560	3	7,5	0,2	Д56

Таблица 3.80. **Сверхвысокочастотные диоды детекторные**

Тип	$P_{рас,\ и\ max}$,			λ, см	$β_I$, $r_{диф}$, $K_{стU}$, M при $P_{пд}$ и $I_{пр}$						Масса, г	Корпус (рис 3 18)
	мВт	$τ_и$, мкс	f, кГц		$β_I$, А/Вт (В/Вт)	$r_{диф}$, кОм	$K_{стU}$	M, $Вт^{-1/2}$	$P_{пд}$, мВт	$I_{пр}$, мкА		
Д605	2	—	—	3,2	(14)	—	—	—	150	—	3,5	Д54
ДК-В1	50	—	—	9,8	0,8	15	—	—	0,2	—	0,7	Д57
ДК-В2	50	—	—	9,8	1,2	10	—	—	0,2	—	0,7	Д57
ДК-В3	50	—	—	3,2	0,4	15	—	—	0,02	—	0,7	Д57
ДК-В4	50	—	—	3,2	0,8	10	—	—	0,02	—	0,7	Д57
ДК-В8	50	—	—	1,8...3,2	—	1,5	3	15	0,01	—	0,7	Д57
ДК-В11	50	—	—	—	1,5	10	2,5	—	0,02	—	0,7	Д57
Д3А	50	—	—	2,9...30	—	—	2,5	22	0,02	—	0,7	Д57
Д3Б	50	—	—	2,9...30	—	—	2,5	40	0,02	—	0,7	Д57
Д602А	50	—	—	2,7...60	1,5	0,2...0,6	3,2	15	0,02	150	0,7	Д57
Д602Б	50	—	—	2,7...60	1,5	0,2...0,6	3,2	20	0,02	150	0,7	Д57
Д606	100	—	—	—	(14)	—	—	—	20	—	10	Д51
Д607	100	1	1	—	—	0,4...1,2	3	30	0,015	50	1,4	Д58
Д607А	100	1	1	—	—	0,4...1,2	3	30	0,015	50	1,4	Д58
Д608	150	1	1	—	—	0,4...1,2	3	30	0,015	50	1,4	Д58
ДК-В5М	200	—	—	3,2	0,8	10	—	—	0,02	—	2,5	Д54
ДК-В6М	200	—	—	3,2	0,8	5...25	—	—	0,02	—	2,5	Д54
ДК-В7М	200	—	—	3,2	0,4	10	—	—	0,02	—	2,5	Д54
ДК-И1М	200	—	—	9,8	0,5	—	—	—	0,02	—	2,5	Д54
ДК-И2М	200	—	—	3,2	0,2	—	—	—	0,02	—	2,5	Д54
Д603	200	1	1	6...60	4	0,3...0,9	2	45	0,004	50	3	Д54
Д608А	200	1	1	—	—	0,4...1,2	3	30	0,015	50	1,4	Д58
Д609	250	—	—	—	—	1...2	1,6	80	0,01	20	1,5	Д53
Д604	300	1	1	>2,7	2,5	0,5...0,9	1,8	35	0,01	50	3	Д54

Таблица 3.81. **Сверхвысокочастотные диоды параметрические**

Тип	$P_{рас\ и\ max}$, Вт	λ, см	$U_{проб}$, В	$I_{обр}$, мкА	τ, пс	$U_{обр}$, В	f, ГГц	$C_{пер}$, пФ	$C_{кор}$, пФ	$H_д$, нГц	Масса, г	Корпус (рис 3 18)
АА410А	0,1	—	6	5	0,8	2	8,6	0,55...0,85	0,2...0,29	0,2	0,05	Д59
АА410Б	0,1	—	6	5	0,6	2	8,6	0,5...0,8	0,2...0,29	0,2	0,05	Д59
АА410В	0,1	—	6	5	0,4	2	8,6	0,6...0,8	0,2...0,29	0,2	0,05	Д59
АА410Г	0,1	—	6	5	0,6	2	8,6	0,4...0,6	0,2...0,29	0,2	0,05	Д59
АА410Д	0,1	—	6	5	0,4	2	8,6	0,42...0,56	0,2...0,29	0,2	0,05	Д59
АА410Е	0,1	—	6	5	0,3	2	8,6	0,4...0,6	0,2...0,29	0,2	0,05	Д59
ГА402А	2,5	3...6	—	0,5	1,2	10	2±0,2	0,3	0,23...0,29	2	0,6	Д60
ГА402Б	2,5	3...6	—	0,5	0,9	10	2±0,2	0,16	0,23...0,29	2	0,6	Д60
ГА402В	2,5	3...6	—	0,5	0,75	10	2±0,2	0,13...0,3	0,23...0,29	2	0,6	Д60
ГА402Г	2,5	3...6	—	0,5	0,75	10	2±0,2	0,16	0,23...0,29	2	0,6	Д60
ГА401	5	6...60	20	0,5	2,2	10	2±0,2	0,45...0,87	0,18...0,25	2	0,7	Д61
ГА401А	5	6...60	20	0,5	2	10	2±0,2	0,36...0,55	0,18...0,25	2	0,7	Д61
ГА401Б	5	6...60	20	0,5	2,2	10	2±0,2	0,26...0,44	0,18...0,25	2	0,7	Д61
ГА401В	5	6...60	20	0,5	1,7	10	2±0,2	0,12...0,13	0,18...0,25	2	0,7	Д61
ГА403А	15	—	50	2	2	20	2±0,2	0,32...0,5	0,2...0,25	1...2	0,7	Д61
ГА403Б	15	—	50	1	1,6	20	2±0,2	0,26...0,4	0,2...0,25	1...2	0,7	Д61
ГА403В	15	—	50	1	1,6	20	2±0,2	0,17...0,3	0,2...0,25	1...2	0,7	Д61
ГА403Г	15	—	50	1	1,6	20	2±0,2	0,08...0,22	0,2...0,25	1...2	0,7	Д61
ГА403Д	15	—	50	1	1,3	20	2±0,2	0,08...0,22	0,2...0,25	1...2	0,7	Д61

Таблица 3.82. **Сверхвысокочастотные диоды переключательные и ограничительные**

Тип	$P_{пд\ и\ max}$, Вт ($P_{пд}$, Вт), [$P_{ком}$, кВт]	$P_{рас}$, Вт ($P_{рас,\ и}$, кВт)	λ, см	$U_{обр\ max}$ ($U_{проб}$), В	$I_{пр\ max}$, мА	$L_{пр}$, дБ ($r_{пр}$, Ом)	$K_д$ ($L_д$, нГц)	$Q_{ик}$, нКл ($t_{пер}$, нс)	$τ_{обр\ вос}$, мкс ($F_{крит}$, ГГц)	$C_д$, пФ ($C_{кор}$, пФ)	Масса, г	Корпус (рис 3 18)
ГА501А	2,5	0,1	3,2 3,9	(19)	—	0,8	150	—	—	(0,12 0,18)	0,6	Д62
ГА501Б	2,5	0,1	3,2 3,9	(19)	—	0,8	150		—	(0,12 0,18)	0 6	Д62
ГА501В	2,5	0,05	3,2 3,9	(19)	—	0,8	150	—	—	(0,12 0,18)	0,6	Д62
ГА501Г	2,5	1	3,2 3,9	(19)	—	0,8	150	—	—	(0,12 0,18)	0,6	Д62
ГА501Д	2 5	1	3,2 3,9	(19)	—	0,8	150	—	—	(0,12 0,18)	0,6	Д62
ГА501Е	2,5	1	3,2 3,9	(19)	—	0 8	150	—	—	(0,12 0,18)	0,6	Д62
ГА501Ж	2 5	0,001	3,2 3,9	(19)	—	0 8	150	—	—	(0,12 0,18)	0,6	Д62
ГА501И	2 5	0,001	3,2 3,9	(19)	—	0,8	150	—	—	(0,12 0,18)	0,6	Д62
ГА504А	(2,5)	0,5	3,9	50	50	0,5	500	(40)	—	0,5 0,8	1	Д63
ГА504Б	(2 5)	0,5	3,9	50	50	0,8	200	(40)	—	0,5 0,8	1	Д63
ГА504В	(2,5)	0,5	3,9	50	50	1	100	(40)	—	0,45 1	1	Д63
КА510А	40	1	7	25	200	(1,5)	(0,8)	10	0,23	0,7 1,4	0,15	Д64
КА510Б	40	1	7	25	200	(1,5)	(0 8)	10	0,23	1,2 2,4	0,15	Д64
КА510В	40	1	7	25	200	(1,5)	(0,8)	10	0,23	2,2 3,4	0,15	Д64
КА510Г	40	1	7	25	200	(2,5)	(0,8)	10	0,23	0,6	0,15	Д64
КА510Д	40	1	7	25	200	(2,5)	(0,8)	10	0,23	1,2 2,4	0,15	Д64
КА510Е	40	1	7	25	200	(2,5)	(0,8)	10	0,23	3,6	0,15	Д64
КА507А	—	5	7	200	200	1,5	—	200	(200)	0,8 1 2	1,3	Д56
КА507Б	—	5	7	200	200	1,5	—	200	(200)	0,8 1 2	1,3	Д56
КА507В	—	5	7	200	200	2,5	—	200	(200)	0,8 1,2	1,3	Д56
КА509А	—	2	7	150	100	(1,5)	—	25	(150)	0,9 1,2	1,3	Д56
КА509Б	—	—	7	150	100	(1,5)	—	25	(150)	0,7 1	1,3	Д56
КА509В	—	—	7	150	100	(2,5)	—	25	(100)	0,5 1,2	1,3	Д56
КА520А	—	4 (10)	7	300	200	(2)	(0,45)	300	(200)	0,4 1	1,3	Д56
КА520Б	—	4 (10)	7	300	200	(3)	(0,45)	300	(150)	0,4 1	1,3	Д56
КА528АМ	—	5 (1,5)	7	250	500	(0,5)	—	900	(200)	1,4 2,4	0,5	Д56
КА528БМ		5 (1,5)	7	250	500	(0,5)	—	900	(200)	2,2 3	0,5	Д56
КА528ВМ		5 (1,5)	7	250	500	(0,7)	—	1000	(40)	3,5	0,5	Д56
КА537А	—	20 (100)	—	300	500	(0,5)	(2,0)	1000	(200)	3	2	Д14
КА542А	—	4 (10)	—	400	200	(1,7)	(0,5)	300	(250)	1	0,5	Д56

Детекторный диод — СВЧ диод, предназначенный для детектирования сигнала. Основные параметры детекторных диодов при нормальной температуре окружающей среды приведены в табл. 3 80, где β_I — чувствительность по току; отношение приращения выпрямленного тока к вызвавшей это приращение СВЧ мощности на входе диодной камеры с СВЧ диодом в рабочем режиме при заданной нагрузке; $r_{диф}$ — дифференциальное сопротивление в нулевой точке; M — коэффициент качества детекторного диода.

Параметрический диод — варикап, предназначенный для применения в диапазоне СВЧ в параметрических усилителях Основные параметры параметрических диодов при нормальной температуре окружающей среды приведены в табл. 3.81, где $U_{проб}$ — напряжение пробоя; τ — постоянная времени: произведение емкости перехода на последовательное сопротивление потерь СВЧ диода; $C_{пер}$ — емкость перехода; $C_{кор}$ — емкость корпуса.

Переключательный диод — полупроводниковый диод, предназначенный для применения в устройствах управления уровнем СВЧ мощности.

Ограничительный диод — полупроводниковый диод с лавинным пробоем, предназначенный для ограничения импульсов напряжения. Основные параметры переключательных и ограничительных диодов при нормальной температуре окружающей среды приведены в табл. 3.82, где $P_{пд, и\,max}$ — импульсная падающая на СВЧ диод мощность; $P_{ком}$ — коммутируемая импульсная СВЧ мощность; $L_{пр}$ — потери пропускания; $r_{пр}$ — прямое сопротивление потерь: последовательное сопротивление потерь переключательного диода, включенного в линию передачи, при заданном постоянном прямом токе; $K_д$ — качество переключательного диода на высоком уровне мощности; $Q_{нк}$ — накопленный заряд.

Умножительный диод — полупроводниковый диод, предназначенный для умножения частоты. Основные параметры умножительных СВЧ диодов при нормальной температуре окружающей среды приведены в табл. 3.83, где $P_{СВЧ\,max}$ — максимально допустимая импульсная рассеиваемая СВЧ мощность; $P_{пд\,max}$ — максимально допустимая непрерывная падающая на диод СВЧ мощность; $f_{пред}$ — предельная частота: значение частоты, на которой добротность СВЧ диода равна единице; $t_{выкл}$ — время выключения: интервал времени нарастания обратного напряжения СВЧ диода при переключении его из открытого состояния в закрытое, отсчитанное по уровню 0,1 и 0,9 установившегося значения обратного напряжения.

Генераторный диод (лавинно-пролетный диод) — полупроводниковый диод, работающий в режиме лавинного размножения носителей заряда при обратном смещении p-n-перехода и предназначенный для генерации СВЧ колебаний. Основные параметры генераторных диодов при нормальной температуре окружающей среды приведены в табл. 3.84, где $P_{вых}$ — непрерывная выходная мощность СВЧ диода: значение импульсной СВЧ мощности, отдаваемой диодом в согласованную нагрузку в заданном режиме; $I_р$ — постоянный рабочий ток; η — коэффициент полезного действия СВЧ диода: отношение вы-

Таблица 3.83. **Сверхвысокочастотные диоды умножительные**

Тип	$P_{СВЧ\,max}$ ($P_{пд\,max}$), мВт	λ, см	$f_{пред}$, ГГц	$U_{обр}$ ($U_{проб}$), В	$I_{обр}$, мкА	$t_{вос,обр}$ ($t_{выкл}$), нс	$C_д$, пФ	$L_д$, нГц	$C_{кор}$ ($C_{пер}$), пФ	Масса, г	Корпус (рис 3 18)
АА603В	0,16	3	200	10	—	—	0,5...1,2	—	—	0,65	Д65
АА603Г	0,25	3	250	15	—	—	0,5..1,2	—	—	0,65	Д65
АА603А	0,4	3	100	20	—	—	0,5...1,5	—	—	0,65	Д65
АА603Б	0,4	3	150	20	—	—	0,5...1,2	—	—	0,65	Д65
КА602Д	0,5	—	60	(30)	—	—	1...1,3	—	0,5...0,7	2,5	Д66
КА602Е	0,5	—	20	(30)	—	—	3,5...4,7	—	0,5...0,7	2,5	Д66
КА602Г	0,7	—	50	(45)	—	—	1,2...1,7	—	0,5...0,7	2,5	Д66
КА605Б	0,7	3	130	30	100	—	0,55...0,95	0,7	0,2...0,3	0,2	Д67
КА605В	0,7	3	130	30	100	—	0,5...1,5	0,7	0,2...0,3	0,2	Д67
КА602В	1	—	35	(45)	—	—	1,7...2,7	—	0,5...0,7	2,5	Д66
КА605А	1	3	100	30	100	—	0,85...1,45	0,7	0,2...0,3	0,2	Д67
АА607А	1	2	100	·30	100	—	0,8...1,9	1,5	0,25...0,35	0,65	Д65
КА609Б	1	3	150	40	100	(0,25)	0,8...1,3	—	0,2...0,3	0,2	Д67
КА609В	1	3	100	40	100	(0,3)	0,8...1,8	—	0,2...0,3	0,2	Д67
КА612А	1	7	60	45	100	—	1...2		(0,1...0,3)	0,18	Д64
КА602Б	1,5	—	25	(60)	—	—	2,7...4,7		0,5...0,7	2,5	Д66
КА609А	2	3	150	40	100	(0,25)	1,1...1,8	—	0,2...0,3	0,2	Д67
КА612Б	2	7	40	60	100	—	2...4	—	(0,1...0,3)	0,18	Д64
КА602А	2,5	—	15	(60)	—	—	4,7...8,7	—	0,5...0,7	2,5	Д66
КА608А	4	3	60	45	100	(1)	1,25...3,5	1,5	0,45	0,3	Д68
КА613Б	6	—	25	70	0,1	(3)	3...5	5	(0,85)	2	Д69
КА613А	10	—	10	80	0,1	(3)	4...8	5	(0,85)	2	Д69
Д501	(100)	25,6	—	—	—	—	—	—	—	3,5	Д54
КА611А	100	3	—	50	10	—	3,1...4,7	1	0,18...0,25	0,1	Д70
КА611Б	100	3	—	50	10	—	1,4...2,2	1	0,18...0,25	0,1	Д70

Таблица 3.84. **Сверхвысокочастотные диоды генераторные**

Тип	$P_{вых\ min}$, мВт	$I_р$, мА	$U_{ном}$, В	$P_{рас\ max}$, Вт	$f_р$, ГГц	$U_{обр}$, В	η, %	$R_д$, Ом	$C_{кор}$, пФ	$H_д$, нГц	Масса, г	Корпус (рис 3 18)
АА707Е	0,1	70 140	33 50	—	15,1 16,7	—	4 8	—	0,4	0,3	0,1	Д71
АА707Г	0,2	60 140	35 60	—	12,4 13,7	—	5 10		0,4	0,3	0,1	Д71
АА707Д	0,2	70 140	35 60	—	13,7 15,1	—	5 10	—	0,4	0,3	0,1	Д71
АА707Ж	0,2	20 45	65 85	—	8,3 9,2	—	10 14	—	0,4	0,3	0,1	Д71
АА707И	0,2	25 50	60 80	—	9,2 10,3	—	10 14	—	0,4	0,3	0,1	Д71
АА707К	0,2	25 60	50 70	—	10,3 11,5	—	10 14	—	0,4	0,3	0,1	Д71
АА707А	0,5	50 100	65 85	—	8,3 9,2	—	7 14	—	0,4	0,3	0,1	Д71
АА707Б	0,5	60 120	60 80	—	9,2 10,3	—	7 14	—	0,4	0,3	0,1	Д71
АА707В	0,5	70 140	50 70	—	10,3 11,5	—	7 14	—	0,4	0,3	0,1	Д71
АА703А	10	270	8,5	—	—	8,5		3 20	—	1,7	0,65	Д65
АА719А	10	1000	5	6,5	17,44 25,9	5,2	—	0,4 5	—	—	0,15	Д71
АА720А	10	1300	4	6,5	25,86 39,64	4,2	—	0,32 3,8	—	—	0,15	Д72
АА721А	10	370	9 12	6,5	3,86 5,96	1,25	—	3 15	—	—	0 15	Д71
АА722А	10	370	8 11	6,5	5,6 8,25	11,5	—	3 15	—	—	0,15	Д71
АА723А	10	400	7 9	6,5	8,15 12,42	9,5	—	2,5 11	—	—	0,15	Д71
АА724А	10	420	5 7	6,5	11,71 17,85	7,5	—	1,5 10	—	—	0,15	Д71
АА703Б	20	320	8,5	—	—	8,5	—	3 20	—	1,7	0,65	Д65
АА705А	20	280	10	2,8	—	10	—	3 15	—	—	0,65	Д65
АА718А	25	1000	5,5	—	17,44 20	5,7	—	0,4 5	0,5	0,35	0,1	Д72
АА718Б	25	1000	5	—	20 23	5,2	—	0 4 5	0,5	0,35	0,1	Д72
АА718В	25	1000	5	—	23 26	5,2	—	0,4 5	0,5	0,35	0,1	Д72
АА718Г	25	1200	4	—	26 29,2	4	—	0,5 4	0,5	0,35	0,1	Д72
АА718Д	25	1200	4	—	29 32,2	4	—	0,5 4	0,5	0,35	0,1	Д72
АА718Е	25	1200	4	—	32 35,5	4	—	0,5 4	0,5	0,35	0,1	Д72
АА718Ж	25	1200	4	—	35 37,5	4	—	0,5 4	0,5	0,35	0,1	Д72
АА718И	25	1200	4	—	37,3 40,25	4	—	0,5 4	0,5	0,35	0,1	Д72
АА733А	25	1200	6,3	7	17,44 25,95	6,4	—	0,4 5	—	—	0,15	Д72
АА727Г	25	1500	2,4 3,1	—	47 53,57	3,2	0,3 3	0,3 2	0,5	0,35	0,13	Д72
АА705Б	50	300	10	3	—	10	—	3 15	—	—	0,65	Д65
АА727Б	50	1500	3 4	—	37,5 42	4,2	0,9 4	0,3 2	0,5	0,35	0,13	Д72
АА727В	50	1500	2,5 3,5	—	42 47	3,6	0,5 3,5	0,3 2	0,5	0 35	0,13	Д72
АА728А	50	1500	3 4,5	—	25,86 29,3	5	—	0,3 1,5	0,5	0,35	0,1	Д72
АА728Б	50	1500	3 4,5	—	29 33,33	5		0,3 1,5	0,5	0,35	0,1	Д72
АА728В	50	1500	3 4,5	—	33 37,5	5	—	0,3 1,5	0,5	0,35	0,1	Д72
АА728Г	50	1500	3 4,5	—	25,86 37,5	5	—	0,3 1,5	0,5	0,35	0 1	Д72
АА727А	75	1700	3 4	—	37,5 42	4,2	0,5 3,5	0,3 1,6	0,5	0,35	0,13	Д72
АА715А	100	1200	9,5	—	8 9,5	9,5	1,5	0,6 2,5	0,5	0,5	0,15	Д71
АА715В	100	1200	9,5	—	9 10,5	9,5	1,5	0,6 2,5	0,5	0,5	0,15	Д71
АА715Е	100	1200	9,5	—	10 11,5	9,5	1,5	0,6 2,5	0,5	0,5	0,15	Д71
АА715К	100	1200	9,5	—	11 12,5	9,5	1,5	0,6 2,5	0,5	0,5	0,15	Д71
АА726А	100	2000	8	17	12,05 13,5	8,5	—	0,3 2,5	0,45	0,25	0,15	Д71
АА726Б	100	2000	8	17	13,5 15	8,5	—	0,3 2,5	0,45	0,25	0,15	Д71
АА726В	100	2000	8	17	15 16,7	8,5		0,3 2,5	0,45	0,25	0,15	Д71
АА716А	150	2000	6,3	—	18 20	6,4	—	0,29	0,5	0,5	0,17	Д73
АА716В	150	2000	6,3	—	20 22	—	—	0,29	0,5	0,5	0,17	Д73
АА716Д	150	2000	6,3	—	22 24	—	—	0,29	0,5	0,5	0,17	Д73
АА716Ж	150	2000	6,3	—	22 25,86	—	—	0,29	0,5	0,5	0,17	Д73
АА715Б	200	1300	9,5	—	8 9,5	9,5	1,5	0,6 2,5	0,5	0,5	0,15	Д71
АА715Г	200	1300	9,5	—	9 10,5	9,5	1,5	0,6 2,5	0,5	0,5	0,15	Д71
АА715Ж	200	1300	9,5	—	10 11,5	9,5	1,5	0,6 2,5	0,5	0,5	0,15	Д71
АА715Л	200	1300	9,5	—	11 12,5	—	1,5	0,6 2,5	0,5	0,5	0,15	Д71
АА725А	200	1500	11	—	5 6	11,2	—	0,6 3	0,45	0,25	0,15	Д71
АА725Б	200	1500	11	—	6 7	11,2	—	0,6 3	0,45	0,25	0,15	Д71
АА725В	200	1500	11	—	7 8,25	11,2	—	0,6 3	0,45	0,25	0,15	Д71
АА726Г	200	2000	8	17	12,05 13,5	8,5	—	0,3 2,5	0,45	0,25	0,15	Д71
АА726Д	200	2000	8	17	13,5 15	8,5	—	0,3 2,5	0,45	0,25	0,15	Д71
АА716Б	250	2000	6,3	—	18 20	—	—	0,29	0,5	0,5	0,17	Д73
АА716Г	250	2000	6,3	—	20 22	—	—	0,29	0,5	0,5	0,17	Д73
АА716Е	250	2000	6,3	—	22 24	—	—	0,29	0,5	0,5	0,17	Д73
АА716И	250	2000	6,3	—	22 25,86	—	—	0,29	0,5	0,5	0,17	Д73
АА715Д	300	1500	9,5	—	9 10,5	9,5	1,5	0,6 2,5	0,5	0,5	0,15	Д71
АА715И	300	1500	9,5	—	10 11,5	9,5	1,5	0,6 2,5	0,5	0,5	0,15	Д71
АА715М	300	1500	9,5	—	11 12,5	9,5	1,5	0,6 2,5	0,5	0,5	0,15	Д71
АА725Г	300	2000	11	—	5 6	11,2	—	0,6 3	0,45	0,25	0,15	Д71
АА725Д	300	2000	11	—	6 7	11,2	—	0,6 3	0,45	0,25	0,15	Д71
АА725Е	300	2000	11	—	7 8,25	11,2	—	0,6 3	0,45	0,25	0,15	Д71

Таблица 3.85 **Выпрямительные блоки и сборки**

Тип	$I_{пр\ ср}$, А	$I_{пр\ н}$, А	$U_{обр\ н}$, В	$U_{кз}$, В	$I_{кз}$, А	$I_{хх}$, мкА	$U_{хх}$, В	$U_{пр}$, В	$\Delta U_{пр}$, В	$I_{обр\ ср}$, мкА	$t_{вос\ обр}$ мкс	f, кГц	Число диодов	Масса, г	Корпус (рис 3 18)
КДС526А	0,02	0,05	15	—	—	—	—	1,1	—	—	5	—	4	0,3	Д74
КДС526Б	0,02	0,05	15	—	—	—	—	1,1	—	—	5	—	4	0,3	Д74
КДС526В	0,02	0,05	15	—	—	—	—	1,1	—	—	5	—	2	0,3	Д74
КДС525А	0,02	0,2	20	—	—	—	—	0,9	—	1	5	—	10	0,7	Д75
КДС525Б	0,02	0,2	20	—	—	—	—	0,9	—	1	5	—	10	0,7	Д75
КДС525В	0,02	0,2	20	—	—	—	—	0,9	—	1	5	—	8	0,7	Д75
КДС525Г	0,02	0,2	20	—	—	—	—	0,9	—	1	5	—	8	0,7	Д75
КДС525Д	0,02	0,2	20	—	—	—	—	0,9	—	1	5	—	8	0,7	Д75
КДС525Е	0,02	0,2	40	—	—	—	—	0,9	—	1	5	—	10	0,7	Д75
КДС525Ж	0,02	0,2	40	—	—	—	—	0,9	—	1	5	—	10	0,7	Д75
КДС525И	0,02	0,2	40	—	—	—	—	0,9	—	1	5	—	8	0,7	Д75
КДС525К	0,02	0,2	40	—	—	—	—	0,9	—	1	5	—	8	0,7	Д75
КДС525Л	0,02	0,2	40	—	—	—	—	0,9	—	1	5	—	8	0,7	Д75
КДС523А	0,02	0,2	70	—	—	—	—	1	5	5	4	—	2	0,12	Д76
КДС523Б	0,02	0,2	70	—	—	—	—	1	20	5	4	—	2	0,12	Д76
КДС523В	0,02	0,2	70	—	—	—	—	1	10	5	4	—	4	0,24	Д77
КДС523Г	0,02	0,2	70	—	—	—	—	1	20	5	4	—	4	0,24	Д77
КДС523АМ	0,02	0,2	70	—	—	—	—	1	5	5	4	—	2	0,12	Д78
КДС523БМ	0,02	0,2	70	—	—	—	—	1	20	5	4	—	2	0,12	Д78
КДС523ВМ	0,02	0,2	70	—	—	—	—	1	10	5	4	—	4	0,24	Д79
КДС523ГМ	0,02	0,7	70	—	—	—	—	1	20	5	4	—	4	0,24	Д79
КД903А	0,075	0,35	30	—	—	—	—	1,2	—	0,5	150	—	8	0,5	Д80
КД903Б	0,075	0,35	30	—	—	—	—	1,2	—	0,5	150	—	8	0,5	Д80
КД909А	0,2	1,5	40	—	—	—	—	1,2	—	10	0,07	—	8	0,58	Д80
КДС627А	0,2	1,5	60	—	—	—	—	1,3	—	2	40	—	8	0,6	Д81
КДС111А	0,2	3	300	—	—	—	—	1,2	—	3	—	20	2	0,3	Д82
КДС111Б	0,2	3	300	—	—	—	—	1,2	—	3	—	20	2	0,3	Д82
КДС111В	0,2	3	300	—	—	—	—	1,2	—	3	—	20	2	0,3	Д82
КЦ401А	0,4	—	500	—	—	—	—	2,5	—	100	—	1	3	90	Д83
КЦ401Г	0,5	—	500	—	—	—	—	2,5	—	100	—	1	4	110	Д84
КЦ402И	0,6	—	500	4	0,6	125	500	—	—	—	—	5	4	7,0	Д85
КЦ403И	0,6	—	500	4	0,6	125	500	—	—	—	—	5	8	15	Д86
КЦ404И	0,6	—	500	4	0,6	125	500	—	—	—	—	5	8	15	Д87
КЦ405И	0,6	—	500	4	0,6	125	500	—	—	—	—	5	4	20	Д88
КЦ402Ж	0,6	—	600	4	0,6	125	600	—	—	—	—	5	4	7	Д85
КЦ403Ж	0,6	—	600	4	0,6	125	600	—	—	—	—	5	8	15	Д86
КЦ404Ж	0,6	—	600	4	0,6	125	600	—	—	—	—	5	8	15	Д87
КЦ405Ж	0,6	—	600	4	0,6	125	600	—	—	—	—	5	4	20	Д88
КЦ412А	1	15	50	1,2	0,5	—	—	—	—	50	—	—	4	6	Д89
КЦ412Б	1	15	100	1,2	0,5	—	—	—	—	50	—	—	4	6	Д89
КЦ402Е	1	—	100	4	1	125	100	—	—	—	—	5	4	7	Д85
КЦ403Е	1	—	100	4	1	125	100	—	—	—	—	5	8	15	Д86
КЦ404Е	1	—	100	4	1	125	100	—	—	—	—	5	8	15	Д87
КЦ405Е	1	—	100	4	1	125	100	—	—	—	—	5	4	20	Д88
КЦ412В	1	15	200	1,2	0,5	—	—	—	—	50	—	—	4	6	Д89
КЦ402Д	1	—	200	4	1	125	200	—	—	—	—	5	4	7	Д85
КЦ403Д	1	—	200	4	1	125	200	—	—	—	—	5	8	15	Д86
КЦ404Д	1	—	200	4	1	125	200	—	—	—	—	5	8	15	Д87
КЦ405Д	1	—	200	4	1	125	200	—	—	—	—	5	4	20	Д88
КЦ417В	1	4	200	3	1	15	200	—	—	—	—	5	4	3,5	Д90
КЦ402Г	1	—	300	4	1	125	300	—	—	—	—	5	4	7	Д85
КЦ403Г	1	—	300	4	1	125	300	—	—	—	—	5	8	15	Д86
КЦ404Г	1	—	300	4	1	125	300	—	—	—	—	5	8	15	Д87
КЦ405Г	1	—	300	4	1	125	300	—	—	—	—	5	4	20	Д88
КЦ402В	1	—	400	4	1	125	400	—	—	—	—	5	4	7	Д85
КЦ403В	1	—	400	4	1	125	400	—	—	—	—	5	8	15	Д86
КЦ404В	1	—	400	4	1	125	400	—	—	—	—	5	8	15	Д87
КЦ405В	1	—	400	4	1	125	400	—	—	—	—	5	4	20	Д88
КЦ417Б	1	4	400	3	1	15	400	—	—	—	—	5	4	3,5	Д90
КЦ402Б	1	—	500	4	1	125	500	—	—	—	—	5	4	7	Д85

Окончание табл. 3.85

Тип	$I_{пр, ср}$, А	$I_{пр и}$, А	$U_{обр, и}$, В	$U_{кз}$, В		$I_{хх}$, мкА		$U_{пр}$, В	$\Delta U_{пр}$, В	$I_{обр, ср}$, мкА	$t_{вос, обр}$, мкс	f, кГц	Число диодов	Масса, г	Корпус (рис 3 18)
					$I_{кз}$, А		$U_{хх}$, В								
КЦ403Б	1	—	500	4	1	125	500	—	—	—	—	5	8	15	Д86
КЦ404Б	1	—	500	4	1	125	500	—	—	—	—	5	8	15	Д87
КЦ405Б	1	—	500	4	1	125	500	—	—	—	—	5	4	20	Д88
КЦ402А	1	—	600	4	1	125	600	—	—	—	—	5	4	7	Д85
КЦ403А	1	—	600	4	1	125	600	—	—	—	—	5	8	15	Д86
КЦ404А	1	—	600	4	1	125	600	—	—	—	—	5	8	15	Д87
КЦ405А	1	—	600	4	1	125	600	—	—	—	—	5	4	20	Д88
КЦ417А	1	4	600	3	1	15	600	—	—	—	—	5	4	3,5	Д90
КЦ410А	3	45	50	1,2	3	—	—	—	—	10	—	—	4	20	Д91
КЦ410Б	3	45	100	1,2	3	—	—	—	—	10	—	—	4	20	Д91
КЦ409Е	3	—	100	2,5	3	3	100	—	—	—	—	1	6	50	Д92
КЦ410В	3	45	200	1,2	3	—	—	—	—	10	—	—	4	20	Д91
КЦ409Д	3	—	200	2,5	3	3	200	—	—	—	—	1	6	50	Д92
КЦ409Г	3	—	300	2,5	3	3	300	—	—	—	—	1	6	50	Д92
КЦ409В	3	—	400	2,5	3	3	400	—	—	—	—	1	6	50	Д92
КЦ409Б	3	—	500	2,5	3	3	500	—	—	—	—	1	6	50	Д92
КЦ409А	3	—	600	2,5	3	3	600	—	—	—	—	1	6	50	Д92
КЦ409И	6	—	100	2,5	6	3	100	—	—	—	—	1	6	50	Д92
КЦ409Ж	6	—	200	2,5	6	3	200	—	—	—	—	1	6	50	Д92

Таблица 3.86. **Выпрямительные столбы**

Тип	$I_{пр, ср}$, мА	$I_{пр и}$, А	$U_{обр, п}$, ($U_{обр}$), кВ	$U_{пр, ср}$, В		$I_{обр, ср}$, мкА		$t_{вос, обр}$, мкс			f, кГц	Масса, г	Корпус (рис. 3 18)
					$I_{пр, ср}$, мА		$U_{обр}$, кВ		$I_{пр}$, мА ($I_{пр, и}$, А)	$U_{обр}$, ($U_{обр и}$), В			
КЦ106А	10	1	(4)	35	10	5	4	3,5	20	(500)	20	2,5	Д93
КЦ106Б	10	1	(6)	35	10	5	6	3,5	20	(500)	20	2,5	Д93
КЦ106В	10	1	(8)	35	10	5	8	3,5	20	(500)	20	2,5	Д93
КЦ106Г	10	1	(10)	35	10	5	10	3,5	20	(500)	20	2,5	Д93
КЦ106Д	10	1	(2)	35	10	5	2	3,5	20	(500)	20	2,5	Д93
Д1005А	50	—	4	5	50	100	4	—	—	—	1	35	Д94
Д1008	50	—	10	10	100	100	10	—	—	—	1	60	Д95
КЦ105Д	50	—	10	7	50	100	(10)	3	(1)	(30)	1	15	Д96
Д1007	75	—	8	10	100	100	8	—	—	—	1	60	Д95
КЦ105Г	75	—	8	7	75	100	(8)	3	(1)	(30)	1	15	Д96
Д1004	100	—	2	5	100	100	2	—	—	—	1	35	Д94
Д1005Б	100	—	4	10	100	100	4	—	—	—	1	60	Д95
Д1006	100	—	6	10	100	100	6	—	—	—	1	60	Д95
КЦ105В	100	—	6	7	100	100	(6)	3	(1)	(30)	1	15	Д96
Д1011А	300	—	0,5	1,5	300	100	(0,5)	—	—	—	1	53	Д97
Д1009А	300	—	1	1,5	300	100	(1)	—	—	—	1	53	Д97
Д1009	300	—	2	2,6	300	100	(2)	—	—	—	1	53	Д98
КЦ109А	300	1	6	7	300	10	6	1,5	300	(6000)	—	25	Д99
КЦ201А	500	—	2	3	500	100	(2)	—	—	—	1	40	Д100
КЦ201Б	500	—	4	3	500	100	(4)	—	—	—	1	40	Д100
КЦ201В	500	—	6	6	500	100	(6)	—	—	—	1	70	Д94
КЦ201Г	500	—	8	6	500	100	(8)	—	—	—	1	70	Д94
КД201Д	500	—	10	6	500	100	(10)	—	—	—	1	70	Д94
КЦ201Е	500	—	15	10	500	100	(15)	—	—	—	1	90	Д101

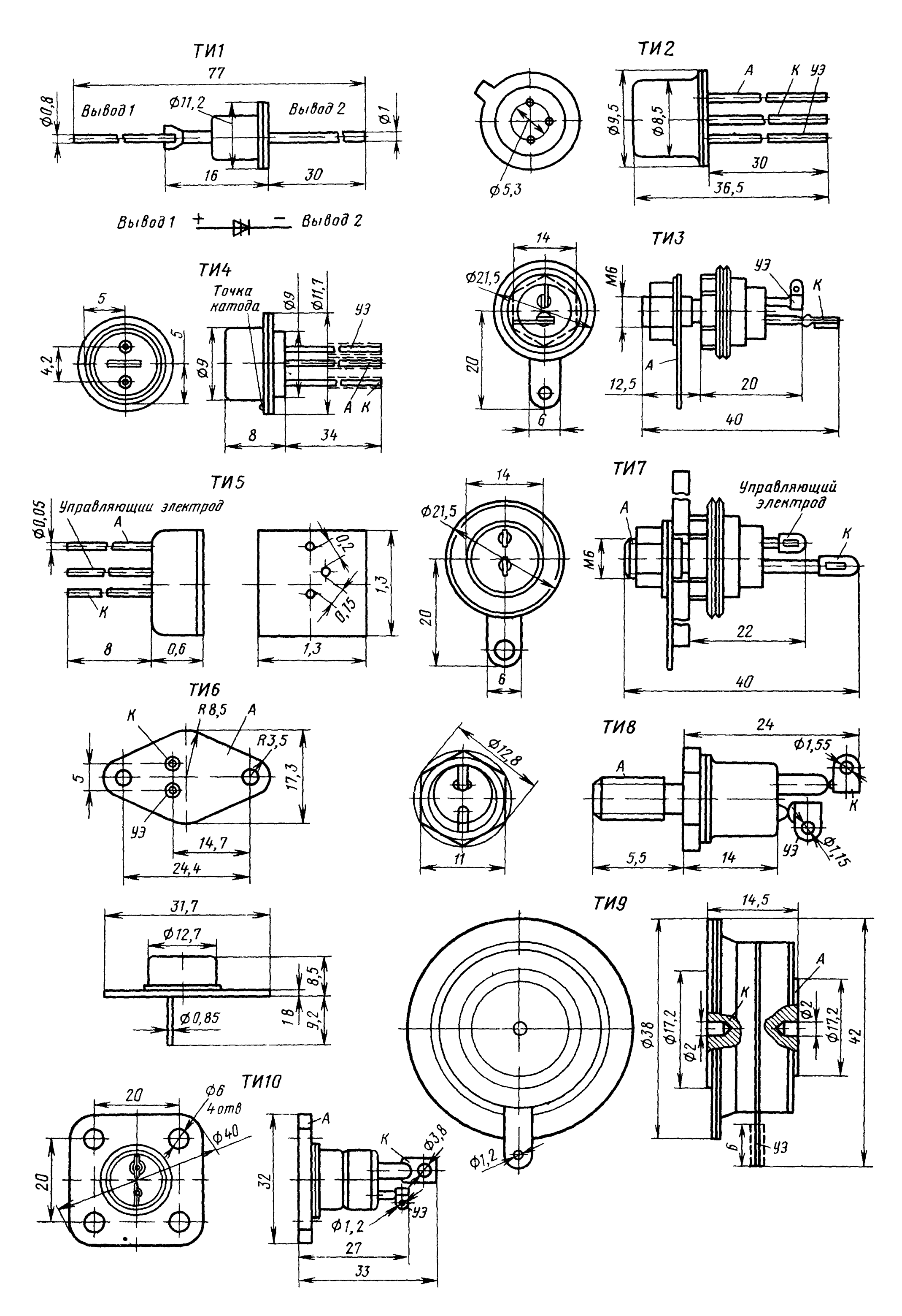

ТИ1
77
Ф0,8
Вывод 1
Ф11,2
Вывод 2
Ф1
16
30
Вывод 1
+
−
Вывод 2
ТИ2
А
К
УЭ
Ф9,5
Ф8,5
30
36,5
Ф5,3
14
ТИ3
Ф21,5
М6
УЭ
К
А
20
12,5
20
6
40
ТИ4
Точка катода
Ф9
Ф11,7
УЭ
5
5
4,2
Ф9
А
К
8
34
ТИ5
Ф0,05
Управляющии электрод
А
К
8
0,6
1,3
1,3
0,15
14
Ф21,5
20
6
ТИ7
А
М6
Управляющий электрод
К
22
40
ТИ6
К
R8,5
А
R3,5
5
17,3
УЭ
14,7
24,4
Ф12,8
11
ТИ8
24
Ф1,55
А
К
УЭ
Ф1,15
5,5
14
31,7
Ф12,7
8,5
18
9,2
Ф0,85
ТИ9
14,5
А
К
Ф38
Ф17,2
Ф2
Ф2
Ф17,2
42
6
УЭ
Ф1,2
ТИ10
20
Ф6
4 отв
Ф40
20
А
К
Ф3,8
32
УЭ
Ф1,2
27
33

Рис 3 19

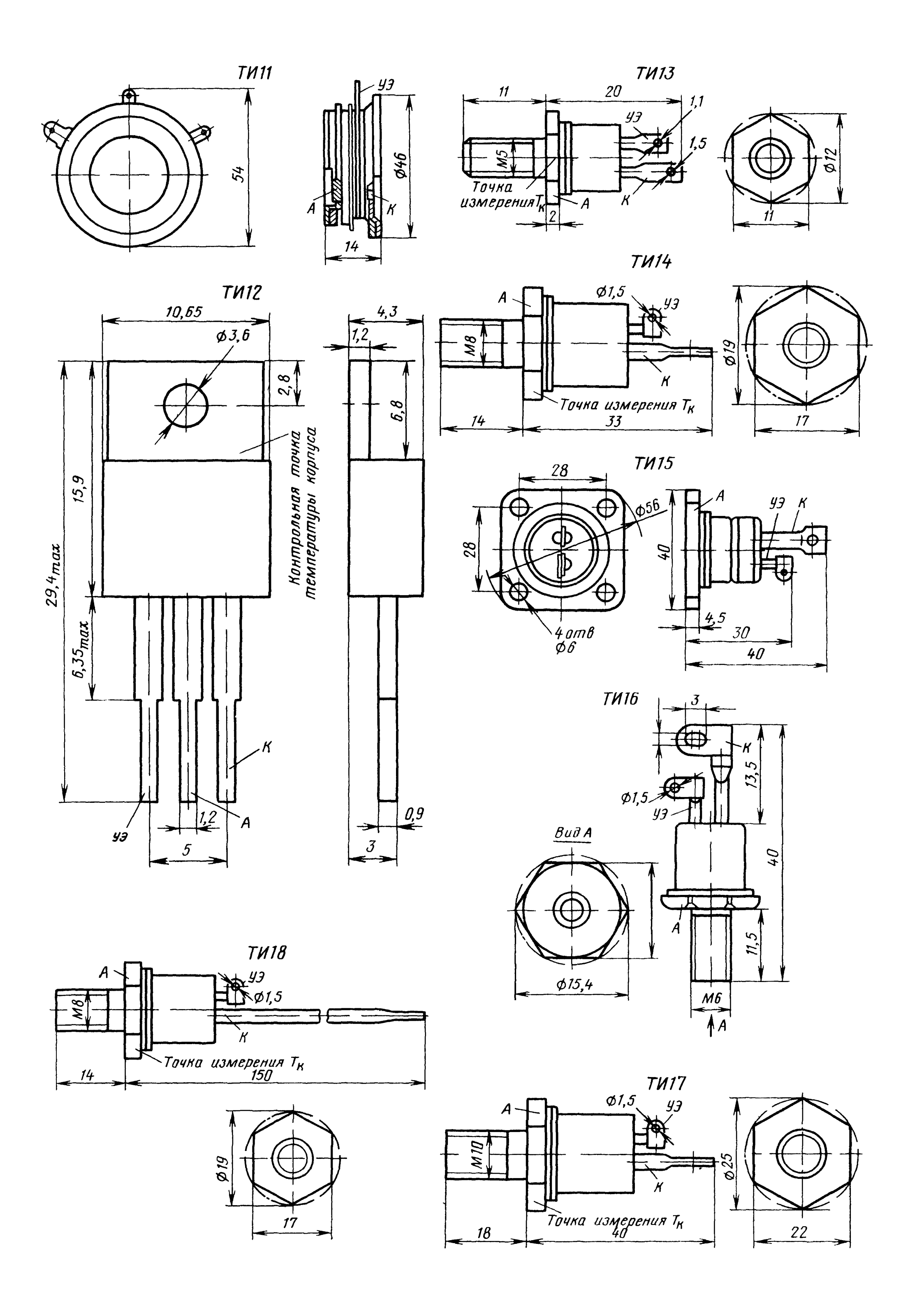


Рис 3 19 (Продолжение)

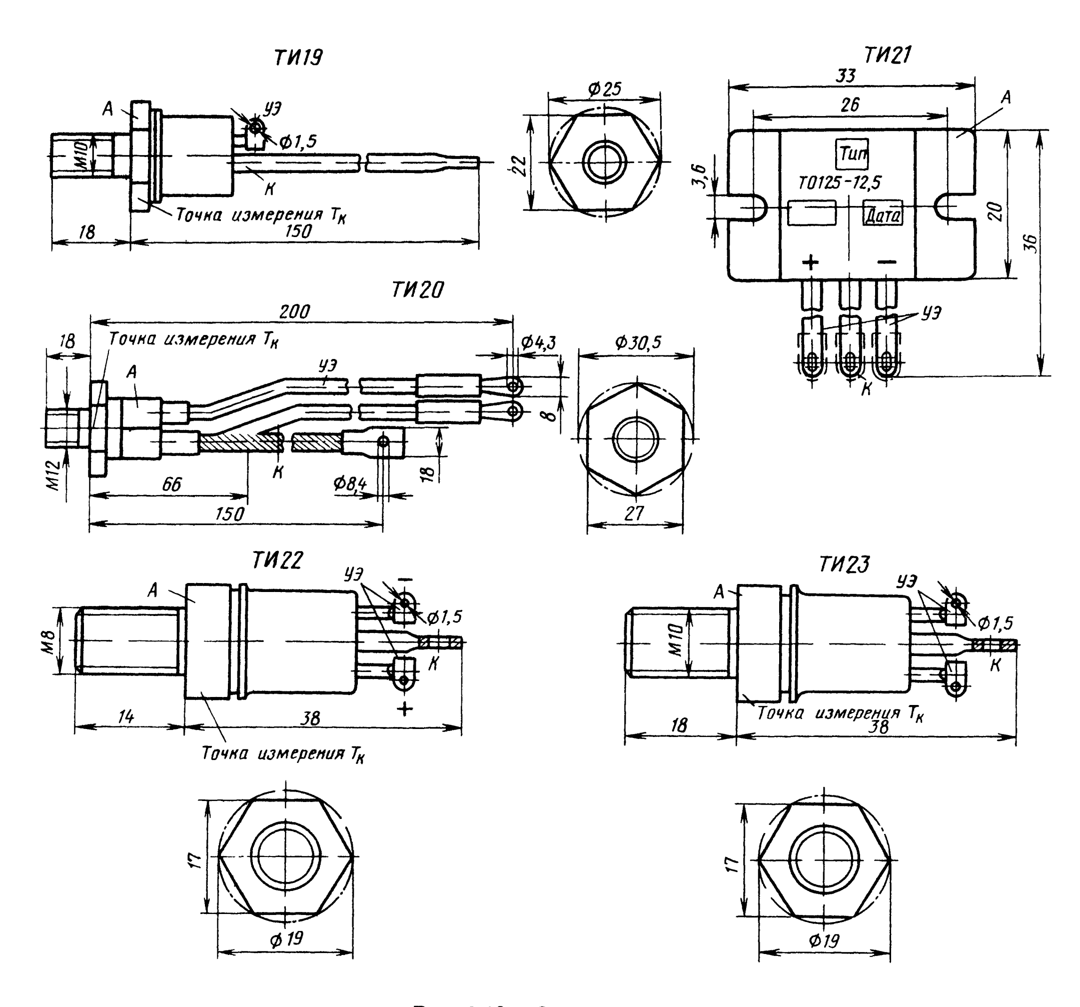


Рис. 3 19 (Окончание)

ходной мощности СВЧ диода к потребляемой им мощности, $R_д$ — сопротивление диода на постоянном токе

Выпрямительные блоки и сборки

Выпрямительный блок (сборка) — полупроводниковый блок (сборка), собранный из выпрямительных диодов. Основные параметры выпрямительных блоков и сборок при нормальной температуре окружающей среды приведены в табл. 3.85, где $U_{кз}$ — напряжение короткого замыкания: напряжение на входе короткозамкнутого по выходу моста при протекании на выходе максимально допустимого выпрямленного тока; $I_{хх}$ — значение тока на входе моста, работающего без нагрузки

Выпрямительные столбы

Выпрямительный столб — совокупность выпрямительных диодов, соединенных последовательно и собранных в единую конструкцию, имеющую два вывода Основные параметры выпрямительных столбов при нормальной температуре окружающей среды приведены в табл 3 86

3.11. ТИРИСТОРЫ

Тиристор — полупроводниковый прибор с двумя устойчивыми состояниями, имеющий три или более p-n-переходов, который может переключаться из закрытого состояния в открытое и наоборот В зависимости от характера ВАХ и способа управления тиристоры подразделяются на динисторы, триодные тиристоры, не проводящие в обратном направлении, запираемые тиристоры, симметричные тиристоры, оптронные тиристоры

Динистор (диодный тиристор) имеет два вывода и переключается в открытое состояние импульсами напряжения заданной амплитуды

Триодный тиристор, не проводящий в обратном направлении (тиристор), включается

импульсами тока управления, а выключается либо подачей обратного напряжения, либо прерыванием тока в открытом состоянии.

Запираемый тиристор выключается с помощью импульсов тока управления.

Симистор (симметричный тиристор) является эквивалентом встречно-параллельного соединения двух тиристоров и способен пропускать ток в открытом состоянии как в прямом, так и в обратном направлениях. Включается симистор одно- и разнополярными импульсами тока управления.

Оптронный тиристор (оптотиристор) управляется с помощью светового сигнала от светодиода, расположенного внутри корпуса прибора.

Габаритные и присоединительные размеры тиристоров, приведенных в справочнике, даны на рис. 3.19. Основные параметры различных видов тиристоров приведены в табл. 3.87 (буквенные обозначения параметров даны в соответствии с ГОСТ 20332—84 «Тиристоры. Термины, определения и буквенные обозначения параметров»), где $I_{ос,\ ср\ max}$ — максимально допустимый средний ток в открытом состоянии; $I_{ос,\ д\ max}$ — максимально допустимый действующий ток в открытом состоянии (для симисторов); $I_{з,\ н}$ — запираемый импульсный ток (для запираемых тиристоров); $I_{ос,\ п}$ — повторяющийся импульсный ток в открытом состоянии: наибольшее мгновенное значение тока в открытом состоянии тиристора, включая все повторяющиеся переходные токи; $U_{зс,\ п}$ — повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии: наибольшее мгновенное значение напряжения в закрытом состоянии, прикладываемого к тиристору, включая только повторяющиеся переходные напряжения; $U_{зс\ max}$ — максимально допустимое постоянное напряжение в закрытом состоянии; $U_{от}$ — наименьшее значение прямого напряжения, необходимое для переключения динистора из закрытого состояния в открытое; $U_{обр,\ п}$ — повторяющееся импульсное обратное напряжение: наибольшее мгновенное значение обратного напряжения, прикладываемого к тиристору, включая только повторяющиеся переходные напряжения; $U_{обр\ max}$ — максимально допустимое постоянное обратное напряжение; $I_{ос,\ удр}$ — ударный неповторяющийся ток в открытом состоянии: наибольший импульсный ток в открытом состоянии, протекание которого вызывает превышение максимально допустимой температуры перехода, но воздействие которого за время службы тиристора предполагается редким, с ограниченным числом повторений; $U_{ос,\ и}$ — импульсное напряжение в открытом состоянии: наибольшее мгновенное значение напряжения в открытом состоянии, обусловленное импульсным током в открытом состоянии заданного значения; $U_{ос}$ — постоянное напряжение в открытом состоянии; $I_{зс,\ п}$ — повторяющийся импульсный ток в закрытом состоянии: импульсный ток в закрытом состоянии, обусловленный повторяющимся напряжением; $I_{зс}$ — постоянный ток в закрытом состоянии; $I_{обр,\ п}$ — повторяющийся импульсный обратный ток: импульсный обратный ток, обусловленный повторяющимся импульсным обратным напряжением; $I_{обр}$ — постоянный обратный ток; $I_{у,\ от}$ — отпирающий постоянный ток управления: наименьший постоянный ток управления, необходимый для включения тиристора; $U_{у,\ от}$ — отпирающее постоянное напряжение управления: напряжение управления, соответствующее $I_{у,\ от}$; $I_{у,\ от,\ и}$ — отпирающий импульсный ток управления; $U_{у,\ от\ и}$ — отпирающее импульсное напряжение управления; $I_{у,\ з,\ и}$ — запирающий импульсный ток управления: наименьший импульсный ток управления, необходимый для выключения тиристора; $U_{у,\ з,\ и}$ — запирающее импульсное напряжение управления; $di_{ос}/dt$ — скорость нарастания тока в открытом состоянии; $(du_{зс}/dt)_{кр}$ — критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии: наибольшее значение скорости нарастания напряжения в закрытом состоянии, которое не вызывает переключения тиристора из закрытого состояния в открытое; $(du_{зс}/dt)_{ком}$ — критическая скорость нарастания коммутационного напряжения: наибольшее значение скорости нарастания основного напряжения, которое непосредственно после нагрузки током в открытом состоянии в противоположном направлении не вызывает переключения симистора из закрытого состояния в открытое; $t_{вкл}$ — время включения; $t_{нр}$ — время нарастания; $t_{выкл}$ — время выключения; f_{max} — максимально допустимая частота следования тока; $R_{T(п\text{-}к)}$ — тепловое сопротивление переход-корпус; $R_{T(п\text{-}с)}$ — тепловое сопротивление переход-среда.

3.12. ТРАНЗИСТОРЫ

Биполярный транзистор — полупроводниковый прибор с двумя взаимодействующими переходами и тремя или более выводами, усилительные свойства которого обусловлены явлениями инжекции и экстракции неосновных носителей заряда. Работа биполярного транзистора зависит от носителей обеих полярностей.

Полевой транзистор — полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей, протекающим через проводящий канал и управляемый электрическим полем. Действие полевого транзистора вызвано носителями заряда одной полярности.

Основные параметры низкочастотных, высокочастотных и СВЧ биполярных маломощных и мощных транзисторов, полевых транзисторов и транзисторных сборок приведены в табл. 3.88—3.95. Габаритные и присоединительные размеры транзисторов, приведенных в справочнике, даны на рис. 3.20. Буквенные обозначения параметров даны в соответствии с ГОСТ 20003—74 «Транзисторы биполярные. Термины, определения и буквенные обозначения параметров» и ГОСТ 19095—73 «Транзисторы полевые. Термины, определения и буквенные обозначения параметров».

Таблица 3.87. **Тиристоры**

Тип	$I_{ос\,ср\,max}$, ($I_{ос\,д\,max}$), [$I_{з\,и}$], А	$I_{ос\,п}$, А	$U_{зс\,п}$ ($U_{зс}$) [$U_{от}$], В	$U_{обр\,п}$ ($U_{обр}$) В	$I_{ос\,удр}$, А $t_и$=10 мс	$U_{ос\,и}$ ($U_{ос}$) В	$I_{ос\,и}$ ($I_{ос}$), А	$I_{зс\,п}$ ($I_{зс}$), мА	$I_{обр\,п}$ ($I_{обр}$), мА
									Дини
КН102А	0,2	10	[20]	(10)	—	(1,5)	(0,2)	(0,08)	(0,5)
КН102Б	0,2	10	[28]	(10)	—	(1,5)	(0,2)	(0,08)	(0,5)
КН102В	0,2	10	[40]	(10)	—	(1,5)	(0,2)	(0,08)	(0,5)
КН102Г	0,2	10	[56]	(10)	—	(1,5)	(0,2)	(0,08)	(0,5)
КН102Д	0,2	10	[80]	(10)	—	(1,5)	(0,2)	(0,08)	(0,5)
КН102Ж	0,2	10	[120]	(10)	—	(1,5)	(0,2)	(0,08)	(0,5)
КН102И	0,2	10	[150]	(10)	—	(1,5)	(0,2)	(0,08)	(0,5)
									Запираемые
КУ102А	[0,05]	5	(50)	(5)	—	(2,5)	(0,05)	(0,1)	—
КУ102Б	[0,05]	5	(100)	(5)	—	(2,5)	(0,05)	(0,1)	—
КУ102В	[0,05]	5	(150)	(5)	—	(2,5)	(0,05)	(0,1)	—
КУ102Г	[0,05]	5	(200)	(5)	—	(2,5)	(0,05)	(0,1)	—
КУ204А	[2]	12	(50)	(40)	—	(3,2)	(2)	(5)	—
КУ204Б	[2]	12	(100)	(40)	—	(3,2)	(2)	(5)	—
КУ204В	[2]	12	(200)	(40)	—	(3,2)	(2)	(5)	—
									Незапираемые
КУ103А	—	0,001	(150)	(150)	—	3	0,001	(0,15)	(1)
КУ103В	—	0,001	(300)	(300)	—	3	0,001	(0,15)	(1)
КУ105А	0,05	2	(30)	(30)	—	(1,1)	(0,05)	0,001	0,003
КУ105Б	0,05	2	(15)	(15)	—	(1,1)	(0,05)	0,001	0,003
КУ105В	0,05	2	(30)	(5)	—	(1,1)	(0,05)	0,001	0,03
КУ105Г	0,05	2	(15)	(5)	—	(1,1)	(0,05)	0,001	0,03
КУ105Д	0,05	2	(30)	(30)	—	(1,1)	(0,05)	0,001	0,003
КУ105Е	0,05	2	(15)	(15)	—	(1,1)	(0,05)	0,001	0,003
КУ101А	0,075	1	(50)	(10)	—	—	—	(0,5)	(0,5)
КУ101Б	0,075	1	(50)	(50)	—	—	—	(0,5)	(0,5)
КУ101Г	0,075	1	(80)	(80)	—	—	—	(0,5)	(0,5)
КУ101Е	0,075	1	(150)	(150)	—	—	—	(0,5)	(0,5)
КУ104А	0,1	3	(15)	(6)	—	(2)	(0,1)	—	—
КУ104Б	0,1	3	(30)	(6)	—	(2)	(0,1)	—	—
КУ104В	0,1	3	(60)	(6)	—	(2)	(0,1)	—	—
КУ104Г	0,1	3	(100)	(6)	—	(2)	(0,1)	—	—
КУ111А	(0,3)	15	(400)	(100)	—	5	15	(0,5)	(0,5)
КУ111Б	(0,3)	15	(200)	(100)	—	5	15	(0,5)	(0,5)
КУ109А	1	12	700	50	—	(3,5)	(2)	0,3	—
КУ109Б	1	12	750	50	—	(3,5)	(2)	0,3	—
КУ109В	1	12	700	50	—	(3,5)	(2)	0,3	—
КУ109Г	1	12	600	50	—	(3,5)	(2)	0,3	—
Д235А	2	10	(50)	—	60	(2)	(2)	(2)	(2)
Д235Б	2	10	(100)	—	60	(2)	(2)	(2)	(2)
Д235В	2	10	(50)	(50)	60	(2)	(2)	(2)	(2)
Д235Г	2	10	(100)	(100)	60	(2)	(2)	(2)	(2)
КУ201А	(2)	30	(25)	(25)	—	(2)	(2)	(5)	(5)
КУ201Б	(2)	30	(25)	(25)	—	(2)	(2)	(5)	(5)
КУ201В	(2)	30	(50)	(50)	—	(2)	(2)	(5)	(5)

$I_{у\ от}$ ($I_{у\ от,\ и}$) [$I_{у\ з,\ и}$], мА	$U_{у\ от}$ ($U_{у\ от\ и}$) [$U_{у\ з\ и}$], В	$U_{зс}$ ($U_{зс\ и}$), В	$dI_{ос}/dt$, А/мкс	$(du_{зс}/dt)_{кр}$ [$(du_{зс}/dt)_{ком}$] В/мкС	$t_{вкл}$, мкс	$t_{кр}$, мкс	$t_{выкл}$, мкс	f_{max}, кГц	$R_{т(п-к)}$ ($R_{т(п-с)}$), °С/Вт	Масса, г	Корпус (рис 3 19)
сторы											
—	—	—	—	—	—	—	40	—	—	2	ТИ1
—	—	—	—	—	—	—	40	—	—	2	ТИ1
—	—	—	—	—	—	—	40	—	—	2	ТИ1
—	—	—	—	—	—	—	40	—	—	2	ТИ1
—	—	—	—	—	—	—	40	—	—	2	ТИ1
—	—	—	—	—	—	—	40	—	—	2	ТИ1
—	—	—	—	—	—	—	40	—	—	2	ТИ1
тиристоры											
(20) [20]	(7) [12]	10	—	200	5	—	20	—	—	1,2	ТИ2
(20) [20]	(7) [12]	10	—	200	5	—	20	—	—	1,2	ТИ2
(20) [20]	(7) [12]	10	—	200	5	—	20	—	—	1,2	ТИ2
(20) [20]	(7) [12]	10	—	200	5	—	20	—	—	1,2	ТИ2
(50) [360]	(5) [40]	20	—	20	—	4	—	10	—	12	ТИ3
(50) [360]	(5) [40]	20	—	20	—	4	—	10	—	12	ТИ3
(50) [360]	(5) [40]	20	—	20	—	4	—	10	—	12	ТИ3
тиристоры											
—	0,4...2	(300)	—	—	—	—	—	10	—	2,5	ТИ4
—	0,4...2	(300)	—	—	—	—	—	10	—	2,5	ТИ4
(5)	(2)	10	—	10	0,1	—	1,5	—	—	0,1	ТИ5
(5)	(2)	10	—	10	0,1	—	1,5	—	—	0,1	ТИ5
(5)	(2)	10	—	10	0,1	—	1,5	—	—	0,1	ТИ5
(5)	(2)	10	—	10	0,1	—	1,5	—	—	0,1	ТИ5
(5)	(2)	10	—	10	0,1	—	1,5	—	—	0,1	ТИ5
(5)	(2)	10	—	10	0,1	—	1,5	—	—	0,1	ТИ5
(12)	1,5...8	10	—	100	2	—	35	—	—	2,25	ТИ4
(12)	1,5...8	10	—	100	2	—	35	—	—	2,25	ТИ4
(12)	1,5..8	10	—	100	2	—	35	—	—	2,25	ТИ4
(12)	1,5...8	10	—	100	2	—	35	—	—	2,25	ТИ4
(15)	(2)	10	—	10	0,29	0,08	2,5	—	—	1,2	ТИ2
(15)	(2)	10	—	10	0,29	0,08	2,5	—	—	1,2	ТИ2
(15)	(2)	10	—	10	0,29	0,08	2,5	—	-	1,2	ТИ2
(15)	(2)	10	—	10	0,29	0,08	2,5	—	—	1,2	ТИ2
(100)	—	—	—	50	1	—	20	—	—	2	ТИ2
(100)	—	—	—	50	—	—	—	—	—	2	ТИ2
100	3 (7)	10 (440)	—	—	—	—	6	—	—	7	ТИ6
100	3 (7)	10 (440)	—	—	—	—	4	—	—	7	ТИ6
100	3 (7)	10 (440)	—	—	—	—	8	—	—	7	ТИ6
100	3 (7)	10 (440)	—	—	—	—	—	—	—	7	ТИ6
(250)	(5)	10	—	—	5	—	35	—	—	16	ТИ7
(250)	(5)	10	—	—	5	—	35	—	—	16	ТИ7
(250)	(5)	10	—	—	5	—	35	—	—	16	ТИ7
(250)	(5)	10	—	—	5	—	35	—	—	16	ТИ7
100	6	10	3	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
100	6	10	3	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
100	6	10	3	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3

Тип	$I_{ос\ ср\ max}$, $(I_{ос\ д\ max})$, $[I_{з\ и}]$, А	$I_{ос\ п}$, А	$U_{зс\ п}$ $(U_{зс})$ $[U_{от}]$, В	$U_{обр\ п}$ $(U_{обр})$, В	$I_{ос\ удр}$, А $t_и=10$ мс	$U_{ос\ и}$ $(U_{ос})$, В	$I_{ос\ и}$ $(I_{ос})$, А	$I_{зс\ п}$ $(I_{зс})$, мА	$I_{обр\ п}$ $(I_{обр})$, мА
КУ201Г	(2)	30	(50)	(50)	—	(2)	(2)	(5)	(5)
КУ201Д	(2)	30	(100)	(100)	—	(2)	(2)	(5)	(5)
КУ201Е	(2)	30	(100)	(100)	—	(2)	(2)	(5)	(5)
КУ201Ж, И	(2)	30	(200)	(200)	—	(2)	(2)	(5)	(5)
КУ201К, Л	(2)	30	(300)	(300)	—	(2)	(2)	(5)	(5)
КУ221А	3,2	100	700	50	—	3,5	20	0,3	—
КУ221Б	3,2	100	750	50	—	3,5	20	0,3	—
КУ221В	3,2	100	700	50	—	3,5	20	0,3	—
КУ221Г	3,2	100	600	50	—	3,5	20	0,3	—
КУ221Д	3,2	100	500	50	—	3,5	20	0,3	—
КУ224А	3,2	150	(400)	50	—	15	150	—	—
КУ220А, Б	4	100	1000	—	—	(1,5)	(1)	0,5	—
КУ220В	4	100	1000	—	—	(1,5)	(1)	0,5	—
КУ220Г, Д	4	100	800	—	—	(1,5)	(1)	0,5	—
КУ108В	(5)	150	1000	500	—	(5)	(5)	2,5	0,5
КУ108Ж	(5)	150	1000	500	—	(5)	(5)	2,5	0,5
КУ108М	(5)	150	800	400	—	(5)	(5)	2,5	0,5
КУ108Н	(5)	150	800	400	—	(5)	(5)	2,5	0,5
КУ108С	(5)	150	800	400	—	(5)	(5)	2,5	0,5
КУ108Т	(5)	150	800	400	—	(5)	(5)	2,5	0,5
КУ108Ф	(5)	150	800	300	—	(5)	(5)	2,5	0,5
КУ108Ц	(5)	150	600	300	—	(5)	(5)	2,5	0,5
КУ215А	(5)	250	1000	1000	—	(3)	(2)	1,5	1,5
КУ215Б	(5)	250	800	800	—	(3)	(2)	1,5	1,5
КУ215В	(5)	250	600	600	—	(3)	(2)	1,5	1,5
КУ202А	(10)	30	(25)	—	50	(1,5)	(10)	(10)	—
КУ202Б	(10)	30	(25)	(25)	50	(1,5)	(10)	(10)	(10)
КУ202В	(10)	30	(50)	—	50	(1,5)	(10)	(10)	—
КУ202Г	(10)	30	(50)	(50)	50	(1,5)	(10)	(10)	(10)
КУ202Д	(10)	30	(100)	—	50	(1,5)	(10)	(10)	—
КУ202Е	(10)	30	(100)	(100)	50	(1,5)	(10)	(10)	(10)
КУ202Ж	(10)	30	(200)	—	50	(1,5)	(10)	(10)	—
КУ202И	(10)	30	(200)	(200)	50	(1,5)	(10)	(10)	(10)
КУ202К	(10)	30	(300)	—	50	(1,5)	(10)	(10)	—
КУ202Л	(10)	30	(300)	(300)	50	(1,5)	(10)	(10)	(10)
КУ202М	(10)	30	(400)	—	50	(1,5)	(10)	(10)	—
КУ202Н	(10)	30	(400)	(400)	50	(1,5)	(10)	(10)	(10)
КУ211А	(10)	200	(800)	(800)	1500	(2)	(20)	(2)	(2)
КУ211Б	(10)	200	(800)	(800)	1500	(2)	(20)	(2)	(2)
КУ211В	(10)	200	(700)	(700)	1500	(2)	(20)	(2)	(2)
КУ211Г	(10)	200	(700)	(700)	1500	(2)	(20)	(2)	(2)
КУ211Д	(10)	200	(600)	(600)	1500	(2)	(20)	(2)	(2)
КУ211Е	(10)	200	(600)	(600)	1500	(2)	(20)	(2)	(2)
КУ211Ж	(10)	200	(500)	(500)	1500	(2)	(20)	(2)	(2)
КУ211И	(10)	200	(500)	(500)	1500	(2)	(20)	(2)	(2)
Т106-10-1... Т106-10-8	10	—	100...800	100... 800	160	1,8	31,4	1,5	1,5
Т112-10-1... Т112-10-12	10	—	100...1200	100... 1200	150	1,85	31,4	2,5	2,5
Т112-16-1... Т112-16-12	16	—	100...1200	100... 1200	200	1,8	50	2,5	2,5
Т132-16-13... Т132-16-20	16	—	1300...2000	1300 2000	220	1,4	50	9	9
КУ210А	(20)	2000	600	600	—	(1,8)	(20)	1,5	1,5

$I_{у, от}$ ($I_{у, от, и}$) [$I_{у, з, и}$], мА	$U_{у, от}$ ($U_{у, от, и}$) [$U_{у, з, и}$], В	$U_{зс}$ ($U_{зс, и}$), В	$dI_{ос}/dt$, А/мкс	$(du_{зс}/dt)_{кр}$ [$(du_{зс}/dt)_{ком}$] В/мкС	$t_{вкл}$, мкс	$t_{кр}$, мкс	$t_{выкл}$, мкс	f_{max}, кГц	$R_{Т(п—к)}$ ($R_{Т(п—с)}$), °С/Вт	Масса, г	Корпус (рис 3 19)
100	6	10	3	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
100	6	10	3	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
100	6	10	3	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
100	6	10	3	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
100	6	10	3	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
(150)	(7)	400	1150	500	—	—	4,5...10	—	—	7	ТИ6
(150)	(7)	400	1250	200	—	—	6...10	—	—	7	ТИ6
(150)	(7)	400	1150	200	—	—	2,4...10	—	—	7	ТИ6
(150)	(7)	400	1050	200	—	—	20	—	—	7	ТИ6
(150)	(7)	400	900	200	—	—	20	—	—	7	ТИ6
100	3	10	100	50	—	—	10	—	—	8	ТИ6
(2...4)	(40)	1000	2700	100	0,2	0,03	50	—	—	8	ТИ8
(2...4)	(40)	1000	1600	100	0,3	0,05	75	—	—	8	ТИ8
(2...4)	(40)	800	1600	100	0,3	0,05	75	—	—	8	ТИ8
(4,5)	(50)	1000	—	50	—	0,1	35	4	—	45	ТИ9
(4,5)	(50)	1000	—	50	—	0,1	100	4	—	45	ТИ9
(4,5)	(50)	800	—	50	—	0,1	35	4	—	45	ТИ9
(4,5)	(50)	800	—	50	—	0,3	35	4	—	45	ТИ9
(4,5)	(50)	800	—	50	—	0,1	100	4	—	45	ТИ9
(4,5)	(50)	800	—	50	—	0,3	100	4	—	45	ТИ9
(4,5)	(50)	600	—	50	—	0,3	35	4	—	45	ТИ9
(4,5)	(50)	600	—	50	—	0,3	100	4	—	45	ТИ9
(4...6)	(50)	1000	—	50	0,75	0,25	150	4	—	50	ТИ10
(4...6)	(50)	800	—	50	0,8	0,3	150	4	—	50	ТИ10
(4...6)	(50)	600	—	50	0,9	0,4	150	4	—	50	ТИ10
200	7	10	—	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
200	7	10	—	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
200	7	10	—	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
200	7	10	—	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
200	7	10	—	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
200	7	10	—	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
200	7	10	—	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
200	7	10	—	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
200	7	10	—	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
200	7	10	—	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
200	7	10	—	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
200	7	10	—	5	10	—	100	—	—	14	ТИ3
600	—	50	200	100	—	—	60	2,5	—	75	ТИ11
600	—	50	200	100	—	—	120	2,5	—	75	ТИ11
600	—	50	200	100	—	—	60	2,5	—	75	ТИ11
600	—	50	200	100	—	—	120	2,5	—	75	ТИ11
600	—	50	200	100	—	—	60	2,5	—	75	ТИ11
600	—	50	200	100	—	—	120	2,5	—	75	ТИ11
600	—	50	200	100	—	—	60	2,5	—	75	ТИ11
600	—	50	200	100	—	—	120	2,5	—	75	ТИ11
25	2,5	12	160	50...320	10	8	100	1,5	2	2,5	ТИ12
40	3	12	100	50...1000	10	8	100	1,5	1,8	7	ТИ13
40	3	12	100	50...1000	10	8	100	1,5	1,5	7	ТИ13
120	4	12	100	50...1000	20	17	100...250	1,5	1	27	ТИ14
150	—	50	400	50	—	—	150	2	—	85	ТИ15

Продолжение табл. 3.87.

Тип	$I_{ос\,ср\,max}$ ($I_{ос,д\,max}$), [$I_{з\,и}$], А	$I_{ос\,п}$, А	$U_{зс\,п}$ ($U_{зс}$) [$U_{от}$], В	$U_{обр\,п}$ ($U_{обр}$), В	$I_{ос,\,удр}$, А $t_и=10$ мс	$U_{ос,\,и}$ ($U_{ос}$), В	$I_{ос\,и}$ ($I_{ос}$), А	$I_{зс,\,п}$ ($I_{зс}$), мА	$I_{обр,\,п}$ ($I_{обр}$), мА
КУ210Б	(20)	2000	500	500	—	(1,8)	(20)	1,5	1,5
КУ210В	(20)	2000	400	400	—	(1,8)	(20)	1,5	1,5
КУ218А	(20)	100	2000	2000	—	(3,5)	(20)	1,5	1,5
КУ218Б	(20)	100	2000	1000	—	(3,5)	(20)	1,5	1,5
КУ218В	(20)	100	1800	1800	—	(3,5)	(20)	1,5	1,5
КУ218Г	(20)	100	1800	900	—	(3,5)	(20)	1,5	1,5
КУ218Д	(20)	100	1600	1600	—	(3,5)	(20)	1,5	1,5
КУ218Е	(20)	100	1600	800	—	(3,5)	(20)	1,5	1,5
КУ218Ж	(20)	100	1400	1400	—	(3,5)	(20)	1,5	1,5
КУ218И	(20)	100	1400	700	—	(3,5)	(20)	1,5	1,5
КУ219А	(20)	1200	1200	1200	—	(2)	(20)	1,5	1,5
КУ219Б	(20)	1200	1000	1000	—	(2)	(20)	1,5	1,5
КУ219В	(20)	1200	800	800	—	(2)	(20)	1,5	1,5
КУ222А	(20)	400	2000	—	—	(3,5)	(20)	1,5	—
КУ222Б	(20)	400	2000	—	—	(3,5)	(20)	1,5	—
КУ222В	(20)	400	1600	—	—	(3,5)	(20)	1,5	—
КУ222Г	(20)	400	1600	—	—	(3,5)	(20)	1,5	—
Т122-20-1... Т122-20-12	20	—	100...1200	100... 1200	300	1,15	63	3	3
Т122-25-1... Т122-25-12	25	—	100...1200	100... 1200	350	1,1	78,5	3	3
Т132-25-13... Т132-25-20	25	—	1300...2000	1300... 2000	330	1,3	78,9	9	9
Т142-32-13... Т142-32-20	32	—	1300...2000	1300... 2000	380	2,1	100	9	9
Т131-40-1... Т131-40-12	40	—	100...1200	100... 1200	750	1,75	125	5	5
Т132-40-1... Т132-40-12	40	—	100...1200	100... 1200	750	1,75	125	5	5
Т141-40-13... Т141-40-20	40	—	1300...2000	1300... 2000	700	1,95	125	15	15
Т142-40-13... Т142-40-20	40	—	1300...2000	1300... 2000	700	1,95	125	9	9
Т132-50-1... Т132-50-12	50		100...1200	100... 1200	800	1,75	157	6	6
Т142-50-13... Т142-50-20	50	—	1300...2000	1300... 2000	750	2,1	157	15	15
ТБ151-50-5... ТБ151-50-9	50	600	500...900	500... 900	1000	2,5	157	20	20
ТБ151-50-10... ТБ151-50-12	50	600	1000...1200	1000... 1200	1000	2,5	157	20	20

Сими

Тип	$I_{ос\,ср\,max}$ ($I_{ос,д\,max}$), [$I_{з\,и}$], А	$I_{ос\,п}$, А	$U_{зс\,п}$ ($U_{зс}$) [$U_{от}$], В	$U_{обр\,п}$ ($U_{обр}$), В	$I_{ос,\,удр}$, А $t_и=10$ мс	$U_{ос,\,и}$ ($U_{ос}$), В	$I_{ос\,и}$ ($I_{ос}$), А	$I_{зс,\,п}$ ($I_{зс}$), мА	$I_{обр,\,п}$ ($I_{обр}$), мА
КУ208А	(5)	—	(100)	(100)	30	(2)	(5)	(5)	(5)
КУ208Б	(5)	—	(200)	(200)	30	(2)	(5)	(5)	(5)
КУ208В	(5)	—	(300)	(300)	30	(2)	(5)	(5)	(5)
КУ208Г	(5)	—	(400)	(400)	30	(2)	(5)	(5)	(5)
ТС106-10-1... ТС106-10-8	(10)	—	100...800	100... 800	75	1,65	14,1	1,5	1,5
ТС112-10-1... ТС112-10-12	(10)	—	100...1200	100... 1200	90	1,85	14,1	3	3
ТС112-16-1... ТС112-16-12	(16)	—	100...1200	100... 1200	120	1,85	22,6	3	3
ТС122-20-1... ТС122-20-12	(20)	—	100...1200	100... 1200	150	1,85	28,2	3,5	3,5

$I_{у,от}$ ($I_{у,от,и}$) [$I_{у,з,и}$], мА	$U_{у,от}$ ($U_{у,от,и}$) [$U_{у,з,и}$], В	$U_{зс}$ ($U_{зс,и}$), В	$dI_{ос}/dt$, А/мкс	$(du_{зс}/dt)_{кр}$ [$(du_{зс}/dt)_{ком}$] В/мкС	$t_{вкл}$, мкс	$t_{кр}$, мкс	$t_{выкл}$, мкс	f_{max}, кГц	$R_{т(п-к)}$ ($R_{т(п-с)}$) °С/Вт	Масса, г	Корпус (рис 3 19)
150	—	50	400	50	—	—	150	2	—	85	ТИ15
150	—	50	400	50	—	—	150	2	—	85	ТИ15
(3...6) *	7	50	100	120	—	—	250	2,5	—	70	ТИ11
(3...6) *	7	50	100	120	—	—	250	2,5	—	70	ТИ11
(3...6) *	7	50	100	120	—	—	250	2,5	—	70	ТИ11
(3...6) *	7	50	100	120	—	—	250	2,5	—	70	ТИ11
(3...6) *	7	50	100	120	—	—	250	2,5	—	70	ТИ11
(3...6) *	7	50	100	120	—	—	250	2,5	—	70	ТИ11
(3...6) *	7	50	100	120	—	—	250	2,5	—	70	ТИ11
(3...6) *	7	50	100	120	—	—	250	2,5	—	70	ТИ11
(3) *	(40)	(1200)	200	200	—	—	100	5	—	60	ТИ11
(3) *	(40)	(1000)	200	50	—	—	150	5	—	60	ТИ11
(3) *	(40)	(800)	200	50	—	—	200	5	—	60	ТИ11
(4...8) *	(50)	(2000)	1000	200	1	0,3	150	5	—	60	ТИ11
(4...8) *	(50)	(2000)	1000	200	1	0,3	300	5	—	60	ТИ11
(4...8) *	(50)	(1600)	1000	200	1	0,3	150	5	—	60	ТИ11
(4...8) *	(50)	(1600)	1000	200	1	0,3	300	5	—	60	ТИ11
60	3	12	100	50...1000	10	8,0	63... 100	1,5	0,9	12	ТИ16
60	3	12	100	50...1000	10	8	63... 100	1,5	0,8	12	ТИ16
120	4	12	100	50...1000	20	17	100... 250	1,5	0,8	27	ТИ14
150	4	12	100	50...1000	20	17	63... 100	1,5	0,65	53	ТИ17
110	3,5	12	100	50...1000	10	8	63... 100	1,5	0,62	37	ТИ18
110	3,5	12	100	50...1000	10	8	63... 100	1,5	0,62	27	ТИ14
150	4	12	100	50...1000	20	17	63... 250	1,5	0,5	68,5	ТИ19
150	4	12	100	50...1000	20	17	63... 250	1,5	0,5	53	ТИ17
110	3,5	12	100	50...1000	10	8	63... 100	1,5	0,5	27	ТИ14
150	4	12	100	50...1000	20	17	63... 250	1,5	0,4	53	ТИ17
120	2,5	12	400	200... 1000	2	1	16... 32	10	0,32	180	ТИ20
120	2,5	12	400	200... 1000	2	1	20... 32	10	0,32	180	ТИ20
сторы											
(250)	(7)	100	—	(10)	10	—	150	1	—	14	ТИ3
(250)	(7)	200	—	(10)	10	—	150	1	—	14	ТИ3
(250)	(7)	300	—	(10)	10	—	150	1	—	14	ТИ3
(250)	(7)	400	—	(10)	10	—	150	1	—	14	ТИ3
75	3,5	12	20	(2,5...10)	9	6	—	0,5	2,2	2,0	ТИ12
100	3	12	50	(2,5...10)	12	7	—	0,5	2,5	6	ТИ13
100	3	12	50	(2,5...10)	12	7	—	0,5	1,55	6	ТИ13
150	3,5	12	50	(2,5...25)	12	7	—	0,5	1,3	12	ТИ16

Тип *	$I_{ос\ ср\ max}$ ($I_{ос\ д\ max}$) [$I_{и}$] А	$I_{ос\ п}$ А	$U_{зс\ п}$ ($U_{зс}$) [$U_{от}$] В	$U_{обр\ п}$ ($U_{обр}$) В	$I_{ос\ удр}$ А $t_и$=10 мс	$U_{ос\ и}$ ($U_{ос}$) В	$I_{ос\ и}$ ($I_{ос}$) А	$I_{зс\ п}$ ($I_{зс}$) мА	$I_{обр\ п}$ ($I_{обр}$) мА
ТС122-25-1	(25)	—	100 1200	100	180	1,85	35	3,5	3,5
ТС122-25-12				1200					
ТС132-40-1	(40)	—	100 1200	100	300	1,85	56,4	5	5
ТС132-40-12				1200					
ТС132-50-1	(50)	—	100 1200	100	350	1,85	70,5	5	5
ТС132-50-12				1200					
									Оптронные
ТО125-12,5-1	12,5		100 1400	100	350	1,4	39	3	3
ТО125-12,5-14				1400					
ТО132-25 6	25	—	600 1200	600	600	1,85	78,5	3	3
ТО132-25-12				1200					
ТО132-40-6	40	—	600 1200	600	750	1,75	125	3	3
ТО132-40-12				1200					
ТО142-50-6	50	—	600 1200	600	800	1,85	157	5	5
ТО142-50-12				1200					

* Значение в амперах

Таблица 3 88 **Транзисторы маломощные низкочастотные**

Тип	$I_{К\ max}$ мА	$I_{К\ и\ max}$ мА	$U_{КЭ\ R}$ ($U_{КЭ}$) В	$R_{эб}$ кОм	$P_{К\ max}$ мВт	$U_{КБ\ max}$ В	$U_{ЭБ\ max}$ В •	f_{h21} $K_ш$ $h_{21э}$ $h_{21э}$ 10 3: f_{h21} МГц	$K_ш$ дБ	$h_{21э}$ ($h_{21э}$)	$h_{21э}\times$ $\times 10^{-3}$ ($h_{11э}$ Ом)
											n=p=n
КТ302А	10		15	0,1	100	15	4		7	110 250	
ГТ122А	20	150	(35)		150	35		1		15 45	
ГТ122Б	20	159	(20)		150	20		1		15 45	
ГТ122В, Г	20	150	(20)		150	20		2		30 60	
КТ201А	30	100	20	2	150	20	20	10		20 60	3
КТ201Б	30	100	20	2	150	20	20	10		30 90	3
КТ201В, Д	30	100	10	2	150	10	10	10		30 90	3
КТ201Г	30	100	10	2	150	10	10	10		70 210	3
КТ503А	150	350			350	40	5	5		40 120	
КТ503Б	150	350			350	40	5	5		80 240	
КТ503В	150	350			350	60	5	5		40 120	
КТ503Г	150	250			350	60	5	5		80 240	
КТ503Д	150	350			350	80	5	5		40 120	
КТ503Е	150	350			350	100	5	5		40 120	
ГТ404А-1	500		25	0,2	600			1		30 80	
ГТ404Б-1	500		25	0,2	600			1		60 150	
ГТ404В 1	500		40	0,2	600			1		30 80	
ГТ404Г-1	500		40	0,2	600			1		60 150	
ГТ404А-2	500		25	0,2	300			1		30 80	
ГТ404Б 2	500		25	0,2	300			1		60 150	
ГТ404В-2	500		40	0,2	300			1		30 80	
ГТ404Г 2	500		40	0,2	300			1		60 150	
											p=n=p
П406 П407	5		(6)		30	6	6	10		(20)	
КТ203А	10	50	60	2	150	60	30	5		(9)	(300)

$I_{у, от}$ ($I_{у, от, и}$) [$I_{у, з, и}$], мА	$U_{у от}$ ($U_{у от, и}$) [$U_{у з и}$], В	$U_{зс}$ ($U_{зс и}$), В	$dI_{ос}/dt$, А/мкс	$(du_{зс}/dt)_{кр}$ [$(du_{зс}/dt)_{ком}$] В/мкС	$t_{вкл}$, мкс	$t_{кр}$, мкс	$t_{выкл}$, мкс	f_{max}, кГц	$R_{T(п-к)}$ ($R_{T(п-с)}$), °С/Вт	Масса, г	Корпус (рис 3 19)
150	3,5	12	50	(2,5...25)	12	7	—	0,5	1,3	12	ТИ16
200	4	12	63	(2,5...25)	12	7	—	0,5	0,65	27	ТИ14
200	4	12	63	(2,5...25)	12	7	—	0,5	0,52	27	ТИ14
тиристоры											
80	2,5	12	100	50	10	5	100	0,5	1,5	24,4	ТИ21
(150)	(2,5)	12	40	20...100	—	—	—	0,5	0,7	25,5	ТИ22
(150)	(2,5)	12	40	20...100	—	—	—	0,5	0,47	25,5	ТИ22
(150)	(2,5)	12	40	20...100	—	—	—	0,5	0,36	48,5	ТИ23

$h_{22э}$ при $U_{КБ}$, $I_э$ и f				$I_{КБО}$, мкА	$I_{КЭО}$, мкА	$U_{КЭ нас}$, В	$I_К$, мА	$R_{бэ}$, Ом	$C_к$, пФ	$R_{Tп-с}$, °С/Вт	Масса, г	Корпус (рис 3 20)
$h_{22э}$, мкСм	$U_{КБ}$, В	$I_э$, мА	f, кГц									
	1	0,1	1	1	1						0,5	ТР1
	5	1		20	15			200		200	2	ТР2
	5	1		20	15			200		200	2	ТР2
	5	1		20	15			200		200	2	ТР2
2	5	10	1	0,5	3				20	556	0,6	ТР3
2	5	10	1	0,5	3				20	556	0,6	ТР3
2	5	10	1	0,5	3				20	556	0,6	ТР3
2	5	10	1	0,5	3				20	556	0,6	ТР3
	5	3		1		0,6	10		20		0,3	ТР4
	5	3		1		0,6	10		20		0,3	ТР4
	5	3		1		0,6	10		20		0,3	ТР4
	5	3		1		0,6	10		20		0,3	ТР4
	5	3		1		0,6	10		20		0,3	ТР4
	5	3		1		0,6	10		20		0,3	ТР4
	1	3		25		0,3				100	5	ТР5
	1	3		25		0,3				100	5	ТР5
	1	3		25		0,3				100	5	ТР5
	1	3		25		0,3				100	5	ТР5
	1	3		25		0,3				150	2	ТР6
	1	3		25		0,3				150	2	ТР6
	1	3		25		0,3				150	2	ТР6
	1	3		25		0,3				150	2	ТР6
2	6	1		6	10			150	20		2	ТР3
	5	1							10		0,5	ТР3

Продолжение табл. 3.88

Тип	$I_{K\,max}$, мА	$I_{K,и\,max}$, мА	$U_{КЭ\,R}$ ($U_{КЭ}$), В	$R_{эб}$, кОм	$P_{K\,max}$, мВт	$U_{КБ\,max}$, В	$U_{ЭБ\,max}$, В	f_{h21}, $K_ш$, $h_{21э}$, $k_{21э}\cdot 10^{-3}$,			
								f_{h21}, МГц	$K_ш$, дБ	$h_{21э}$ ($h_{21э}$)	$k_{21э}\times 10^{-3}$ ($h_{11э}$, Ом)
КТ203Б	10	50	30	2	150	30	15	5		(30...150)	(300)
КТ203В	10	50	15	2	150	15	10	5		(30...200)	(300)
КТ207А	10	50	(60)		15	60		5		(9)	(300)
КТ207Б	10	50	(30)		15	30		5		(30...150)	(300)
КТ207В	10	50	(15)		15	15		5		(30...200)	(300)
ГТ109А	20		6	200	30	10		1	12	20...50	
ГТ109Б	20		6	200	30	10		1	12	35...80	
ГТ109В	20		6	200	30	10		1	12	60...130	
ГТ109Г	20		6	200	30	10		1	12	110...250	
ГТ109Д	20		6	200	30	10		3	12	20...70	
ГТ109Е	20		6	200	30	10		5	12	50...70	
ГТ109Ж	20		6	200	30	10		1	12	20...50	
ГТ109И	20		6	200	30	10		1	12	20...80	
ГТ115А	30				50	20	20	1		(20...80)	
ГТ115Б	30				50	30	20	1		(20...80)	
ГТ115В	30				50	20	20	1		(60...150)	
ГТ115Г	30				50	30	20	1		(60...150)	
ГТ115Д	30				50	20	20	1		(125...250)	
КТ104А	50		30	10	150	30	10	5		(9...36)	(120)
КТ104Б	50		15	10	150	15	10	5		(20...80)	(120)
КТ104В	50		15	10	150	15	10	5		(40...160)	(120)
КТ104Г	50		30	10	150	30	10	5		(15...60)	(120)
ГТ108А	50				75	5		0,15		(20...50)	
ГТ108Б	50				75	5		1		(35...80)	
ГТ108В	50				75	5		1		(60...130)	
ГТ108Г	50				75	5		1		(110...250)	
ГТ124А	100	100			75	25	10	1		28...56	
ГТ124Б	100	100			75	25	10	1		45...90	
ГТ124В	100	100			75	25	10	1		71...162	
ГТ124Г	100	100			75	25	10	1		120...200	
ГТ125А	100	300			150	35	20	1		(28...56)	
ГТ125Б	100	300			150	35	20	1		(45...90)	
ГТ125В	100	300			150	35	20	1		(71...140)	
ГТ125Г	100	300			150	35	20	1		(120...200)	
ГТ125Д	100	300			150	35	20	1		28...56	
ГТ125Е	100	300			150	35	20	1		45...90	
ГТ125Ж	100	300			150	70	20	1		71...140	
ГТ125И	100	300			150	70	20	1		28...56	
ГТ125К	100	300			150	70	20	1		45...90	
ГТ125Л	100	300			150	70	20	1		71...140	
КТ208А, В	150	300	20	10	200	20	20	5		20...60	
КТ208Б	150	300	20	10	200	20	20	5		40...120	
КТ208Г, Е	150	300	30	10	200	30	20	5		20...60	
КТ208Д	150	300	30	10	200	30	20	5		40...120	
КТ208Ж, К	150	300	45	10	200	45	20	5		20...60	
КТ208И	150	300	45	10	200	45	20	5		40...120	
КТ208Л	150	300	60	10	200	60	20	5		20...60	
КТ208М	150	300	60	10	200	60	20	5		40...120	
КТ502А	150	350			350	40	5	5		40...120	
КТ502Б	150	350			350	40	5	5		80...240	
КТ502В	150	350			350	60	5	5		40...120	
КТ502Г	150	350			350	60	5	5		80...240	
КТ502Д	150	350			350	80	5	5		40...120	
КТ502Е	150	350			350	90	5	5		40...120	
КТ209А	300	500	15	10	200	15	10	5		20...60	
КТ209Б	300	500	15	10	200	15	10	5		40...120	
КТ209В	300	500	15	10	200	15	10	5		80...240	
КТ209Г	300	500	30	10	200	30	10	5		20...60	
КТ209Д	300	500	30	10	200	30	10	5		40...120	

$h_{22э}$ при $U_{КБ}$, $I_э$ и f				$I_{КБО}$, мкА	$I_{КЭО}$, мкА	$U_{КЭ\,нас}$, В	$I_К$, мА	$R_{бэ}$, Ом	$C_к$, пФ	$R_{Тп-с}$, °С/Вт	Масса, г	Корпус (рис 3 20)
$h_{22э}$, мкСм	$U_{КБ}$, В	$I_э$, мА	f, кГц									
	5	1							10		0,5	ТР3
	5	1							10		0,5	ТР3
	5	1	1	0,05	1	1	10		10		0,001	ТР7
	5	1	1	0,05	1	0,5	10		10		0,001	ТР7
	5	1	1	0,05	1	0,5	10		10		0,001	ТР7
	5	1	1	5	5				30		0,1	ТР8
	5	1	1	5	5				30		0,1	ТР8
	5	1	1	5	5				30		0,1	ТР8
	5	1	1	5	5				30		0,1	ТР8
	5	1	1	1	2				40		0,1	ТР8
	5	1	1	2	3				40		0,1	ТР8
	5	1	1	1	5				30		0,1	ТР8
	5	1	1	5	5				30		0,1	ТР8
	5	5		40	40						0,6	ТР1
	5	5		40	40						0,6	ТР1
	5	5		40	40						0,6	ТР1
	5	5		40	40						0,6	ТР1
	5	5		40	40						0,6	ТР1
	5	1	1	1	1	1			50	400	0,5	ТР1
	5	1	1	1	1	1			50	400	0,5	ТР1
	5	1	1	1	1	1			50	400	0,5	ТР1
	5	1	1	1	1	1			50	400	0,5	ТР1
	5	1		10	15				50	800	0,5	ТР1
	5	1		10	15				50	800	0,5	ТР1
	5	1		10	15				50	800	0,5	ТР1
	5	1		10	15				50	800	0,5	ТР1
5	1			15	15	0,5	100				0,5	ТР1
5	1			15	15	0,5	100				0,5	ТР1
5	1			15	15	0,5	100				0,5	ТР1
5	1			15	15	0,5	100				0,5	ТР1
5	5			50	50	0,3	300				2	ТР2
5	5			50	50	0,3	300				2	ТР2
5	5			50	50	0,3	300				2	ТР2
5	5			50	50	0,3	300				2	ТР2
5	5			50	50	0,3	300				2	ТР2
5	5			50	50	0,3	300				2	ТР2
5	5			50	50	0,3	300				2	ТР2
5	5			50	50	0,3	300				2	ТР2
5	5			50	50	0,3	300				2	ТР2
5	5			50	50	0,3	300				2	ТР2
5	5					0,4	300		50		0,6	ТР1
5	5					0,4	300		50		0,6	ТР1
5	5					0,4	300		50		0,6	ТР1
5	5					0,4	300		50		0,6	ТР1
5	5					0,4	300		50		0,6	ТР1
5	5					0,4	300		50		0,6	ТР1
5	5					0,4	300		50		0,6	ТР1
5	5					0,4	300		50		0,6	ТР4
5	3			1		0,6	10		20		0,3	ТР4
5	3			1		0,6	10		20		0,3	ТР4
5	3			1		0,6	10		20		0,3	ТР4
5	3			1		0,6	10		20		0,3	ТР4
5	3			1		0,6	10		20		0,3	ТР4
5	3			1		0,6	10		20		0,3	ТР4
	5	10				0,4	300		50		0,3	ТР4
	5	10				0,4	300		50		0,3	ТР4
	5	10				0,4	300		50		0,3	ТР4
	5	10				0,4	300		50		0,3	ТР4
	5	10				0,4	300		50		0,3	ТР4

Окончание табл 3,88

Тип	$I_{K\,max}$ мА	$I_{K\,и\,max}$ мА	$U_{КЭ\,R}$ ($U_{КЭ}$) В	$R_{эб}$ кОм	$P_{K\,max}$ мВт	$U_{КБ\,max}$ В	$U_{ЭБ\,max}$ В	f_{h21} $K_ш$ $h_{21э}$ $k_{21э}$ 10^{-3}			
								f_{h21} МГц	$K_ш$ дБ	$h_{21э}$ ($h_{21э}$)	$k_{21э}\times$ $\times 10^{-3}$ ($h_{11э}$ Ом)
КТ209Е	300	500	30	10	200	30	10	5		80 240	
КТ209Ж	300	500	45	10	200	45	20	5		20 60	
КТ209И	300	500	45	10	200	45	20	5		40 120	
КТ209К	300	500	45	10	200	45	20	5		80 160	
КТ209Л	300	500	60	10	200	60	20	5		20 60	
КТ209М	300	500	60	10	200	60	20	5		40 120	
КТ501А	300	500	15	10	350	15	10	5	4	20 60	
КТ501Б	300	500	15	10	350	15	10	5	4	40 120	
КТ501В	300	500	15	10	350	15	10	5	4	80 240	
КТ501Г	300	500	30	10	350	30	10	5	4	20 60	
КТ501Д	300	500	30	10	350	30	10	5	4	40 120	
КТ501Е	300	500	30	10	350	30	10	5	4	80 240	
КТ501Ж	300	500	45	10	350	45	20	5	4	20 60	
КТ501И	300	500	45	10	350	45	20	5	4	40 120	
КТ501К	300	500	45	10	350	45	20	5	4	80 240	
КТ501Л	300	500	60	10	350	60	20	5	4	20 60	
КТ501М	300	500	60	10	350	60	20	5	4	40 120	
ГТ402А 1	500		25	0,2	600			1		30 80	
ГТ402А 2	500		25	0,2	300			1		30 80	
ГТ402Б 1	500		25	0 2	600			1		60 150	
ГТ402Б 2	500		25	0,2	300			1		60 150	
ГТ402В 1	500		40	0,2	600			1		30 80	
ГТ402В 2	500		40	0,2	300			1		30 80	
ГТ402Г 1	500		40	0 2	600			1		60 150	
ГТ402Г 2	500		400	0 2	300			1		60 150	
ГТ405А	500		25	0,2	600			1		30 80	
ГТ405Б	500		25	0 2	600			1		60 150	
ГТ405В	500		40	0,2	600			1		30 80	
ГТ405Г	500		40	0,2	600			1		60 150	

Таблица 3 89 **Транзисторы мощные низкочастотные**

Тип	$I_{K\,max}$ A	$I_{K\,и\,max}$ A	$U_{КЭ\,R}$ $U_{КЭ\,R\,и}$ при $R_{бэ}$			$P_к$ Вт	$I_Б(I_Э)$ A	$U_{КБ\,max}$ В	$U_{ЭБ\,max}$ В	$h_{21э}$ ($h_{21э}$)
			$U_{КЭ\,R}$ ($U_{КЭ}$) В	$U_{КЭ\,R\,и}$ ($U_{КЭ0\,гр}$) В	$R_{бэ}$ кОм					
										n=p=n
КТ807А	0,5	1,5	100	120	1	10	0,2	4		15 45
КТ807АМ	0,5	1,5	100	120	1	10	0,2	4		15 45
КТ807Б	0,5	1,5	100	120	1	10	0,2	4		30 100
КТ807БМ	0,5	1,5	100	120	1	10	0,2	4		30 100
КТ826А,В	1	1	700	(500)	0,01	15	0,75			5 300
КТ826Б	1	1	700	(600)	0,01	15	0,75			5 300
КТ815А	1,5	3	40	(25)	0,1	10	0,5		5	40 70
КТ815Б	1,5	3	50	(40)	0,1	10	0,5		5	40 70
КТ815В	1,5	3	70	(60)	0,1	10	0,5		5	40 70
КТ815Г	1,5	3	100	(80)	0,1	10	0,5		5	30 70
КТ801А	2		80		0,1	5	0,4		2,5	13 50
КТ801Б	2		60		0,1	5	0 4		2,5	30 150
КТ704А	2,5	4	500	1000	0,01	15	2		4	10 100
КТ704Б	2,5	4	400	700	0,01	15	2		4	10 100
КТ704В	2,5	4	400	500	0,01	15	2		4	10 100
КТ809А	3	5	400		0,01	40	1 5		4	15 100
КТ817А	3	6	40	(25)	1	25	1		5	30
КТ817Б	3	6	45	(45)	1	25	1		5	30

$h_{22э}$ при $U_{КБ}$, $I_Э$ и f				$I_{КБО}$, мкА	$I_{КЭО}$, мкА	$I_{КЭнас}$, В	$I_К$, мА	$R_{бэ}$, Ом	$C_к$, пФ	$R_{Тп-с}$, °С/Вт	Масса, г	Корпус (рис 3 20)
$h_{22э}$, мкСм	$U_{КБ}$, В	$I_Э$, мА	f, кГц									
	5	10				0,4	300		50		0,3	ТР4
	5	10				0,4	300		50		0,3	ТР4
	5	10				0,4	300		50		0,3	ТР4
	5	10				0,4	300		50		0,3	ТР4
	5	10				0,4	300		50		0,3	ТР4
	5	10				0,4	300		50		0,3	ТР4
	5	10	1	1	1	0,4	300		50		0,6	ТР3
	5	10	1	1	1	0,4	300		50		0,6	ТР3
	5	10	1	1	1	0,4	300		50		0,6	ТР3
	5	10	1	1	1	0,4	300		50		0,6	ТР3
	5	10	1	1	1	0,4	300		50		0,6	ТР3
	5	10	1	1	1	0,4	300		50		0,6	ТР3
	5	10	1	1	1	0,4	300		50		0,6	ТР3
	5	10	1	1	1	0,4	300		50		0,6	ТР3
	5	10	1	1	1	0,4	300		50		0,6	ТР3
	5	10	1	1	1	0,4	300		50		0,6	ТР3
	5	10	1	1	1	0,4	300		50		0,6	ТР3
	1	3		20		0,3		100			5	ТР5
	1	3		20		0,3		150			2	ТР6
	1	3		20		0,3		100			5	ТР5
	1	3		20		0,3		150			2	ТР6
	1	3		20		0,3		100			5	ТР5
	1	3		20		0,3		150			2	ТР6
	1	3			20	0,3			100		5	ТР5
	1	3			20	0,3			150		2	ТР6
	1	3			25	0,35			100		1	ТР9
	1	3			25	0,35			100		1	ТР9
	1	3			25	0,35			100		1	ТР9
	1	3			25	0,35			100		1	ТР9

$f_{гр}$, МГц	$I_{КБО}$ ($I_{КЭR}$), мА	$I_{ЭБО}$ ($I_{КЭК}$), мА	$U_{КЭнас}$, В	$U_{БЭнас}$, В	$t_{рас}$, мкс	$t_{вкл}$, мкс	$t_{выкл}$ ($t_{сп}$), мкс	$C_к$, пФ	$C_э$, пФ	$R_{Т п-к}$, °С/Вт	Масса, г	Корпус (рис 3 20)
5	(5)	15	1							8	2,5	ТР10
5	(5)	15	1							8	1	ТР10
5	(5)	15	1							8	2,5	ТР10
5	(5)	15	1							8	1,0	ТР10
	(2)	3	2,5	2			(1,5)	25	250		17	ТР11
	(2)	3	2,5	2			(0,7)	25	250		17	ТР11
3	0,05							60	75		1	ТР12
3	0,05							60	75		1	ТР12
3	0,05							60	75		1	ТР12
3	0,05							60	75		1	ТР12
10	(10)	2	2								4	ТР13
10	(10)	2	2								4	ТР13
1	(5)	100	5	3							20	ТР14
1	(5)	100	5	3							20	ТР14
1	(5)	100	5	3							20	ТР14
3	(3)	50	1,5	2,3	3	0,3	(0,3)	270		2,5	22	ТР15
0,1		0,6	1,5					60	115		0,7	ТР12
3	0,1		0,6	1,5				60	115		0,7	ТР12

Продолжение табл. 3.89

Тип	$I_{K\,max}$, А	$I_{K,и\,max}$, А	$U_{КЭ\,R}$, $U_{КЭ\,R,и}$ при $R_{бэ}$: $U_{КЭ\,R}$ ($U_{КЭ}$), В	$U_{КЭ\,R,и}$ ($U_{КЭО\,гр}$), В	$R_{бэ}$, кОм	$P_к$, Вт	$I_Б(I_Э)$, А	$U_{КБ\,max}$, В	$U_{ЭБ\,max}$, В	$h_{21Э}$ ($h_{21э}$)
КТ817В	3	6	60	(60)	1	25	1		5	30
КТ817Г	3	6	100	(80)	1	25	1		5	30
КТ802А	5			130		50	1	150	3	15
КТ805А	5	8		160	0,01	30	2		5	15
КТ805АМ	5	8		160	0,01	30	2		5	15
КТ805Б	5	8		135	0,01	30	2		5	15
КТ805БМ,ВМ	5	8		135	0,01	30	2		5	15
КТ828А	5	7,5	800	1400	0,01	50			5	4
КТ828Б	5	7,5	600	1200	0,01	50			5	4
КТ838А	5	7,5		1500	0,01	12,5	0,1		5...7	
КТ840А	6	8	400	900	0,1	60	2			10...100
КТ840Б	6	8	350	750	0,1	60	2			10...100
ТК435-10	6	10	600...800		0,01			600...800	5	8
КТ812А	8	12	700	700	0,01	50	3		7	10...125
КТ812Б	8	12	500	500	0,01	50	3		7	10...125
КТ812В	8	12	300	300	0,01	50	3		7	10...125
КТ829А	8	12	(100)	(100)	1	60	0,2	100	5	750
КТ829Б	8	12	(80)	(80)	1	60	0,2	80	5	750
КТ829В	8	12	(60)	(60)	1	60	0,2	60	5	750
КТ829Г	8	12	(45)	(45)	1	60	0,2	45	5	750
КТ803А	10		60	80	0,1	60			4	10
КТ808А	10		120	250	0,01	50	4		4	10...150
КТ819А	10	15	40	(25)	0,1	60	3	100	5	15...30
КТ819Б	10	15	50	(40)	0,1	60	3	80	5	20...30
КТ819В	10	15	70	(60)	0,1	60	3	60	5	15...30
КТ819Г	10	15	100	(80)	0,1	60	3	80	5	12...30
ТК135-16	10	16	45...540	50...600	0,01	50	3,5			10...100
ТК335-16	10	16	300...600		0,01		5	300...600	7	8
ТК435-16	10	16	600...800		0,01		5	600...800	7	8
ТК335-20	12,5	20	300...600		0,01		5	300...600	7	8
ТК435-20	12,5	20	600...800		0,01		5	600...800	7	8
КТ819АМ	15	20	40	(25)	0,1	100	3		5	15...30
КТ819БМ	15	20	50	(40)	0,1	100	3		5	20...30
КТ819ВМ	15	20	70	(60)	0,1	100	3		5	15...30
КТ819ГМ	15	20	100	(80)	0,1	100	3		5	12...30
КТ834А	15	20	500	(400)	0,1	100	3,5		8	60...1250
КТ834Б	15	20	450	(350)	0,1	100	3,5		8	60...1250
КТ834В	15	20	400	(300)	0,1	100	3,5		8	60...1250
КТ135-25	16	25	45...540	50...600	0,01	50	5			10...100
ТК335-25	16	25	300...600		0,01		5	300...600	7	8
ТК435-25	16	25	600...800		0,01		7,5	600...800	7	8
КТ827А	20	40	100	100	1	125	0,5	100	5	750...18 000
КТ827Б	20	40	80	80	1	125	0,5	80	5	750...18 000
КТ827В	20	40	60	60	1	125	0,5	60	5	750...18 000
ТК235-32	20	32	45...540	50...600	0,01	68	6,5	50...600	4	10...100
ТК335-32	20	32	300...600		0,01		5	300...600	7	8
ТК435-32	20	32	600...800		0,01		10	600...800	7	8
ТК235-40	32	40	45...540	50...600	0,01	68	8	50...600	4	10...100
ТК335-40	32	40	300...600		0,01		12	300...600	7	8
ТК235-50	32	50	45...540	50...600	0,01	100	10	50...600	4	10...100
ТК235-63	40	63	45...540	50...600	0,01	170	13	50...600	4	10...100
										p=n=p
КТ626А	0,5	1,5	(45)	(45)	0,1	6,5		45		40...250
КТ626Б	0,5	1,5	(60)	(60)	0,1	6,5		60		30...100
КТ626В	0,5	1,5	(80)	(80)	0,1	6,5		80		15...45
КТ626Г	0,5	1,5	(20)	(20)	0,1	6,5		20		15...60

$f_{гр}$, МГц	$I_{КБО}$ ($I_{КЭR}$), мА	$I_{ЭБО}$ ($I_{КЭК}$), мА	$U_{КЭ\,нас}$, В	$U_{БЭ\,нас}$, В	$t_{рас}$, мкс	$t_{вкл}$, мкс	$t_{выкл}$ ($t_{сп}$), мкс	$C_к$, пФ	$C_э$, пФ	$R_{T\,п-к}$, °C/Вт	Масса, г	Корпус (рис 3 20)
3	0,1		0,6	1,5				60	115		0,7	ТР12
3	0,1		0,6	1,5				60	115		0,7	ТР12
10	60		5							2,5	22	ТР15
	(60)	100	2,5	2,5						3,3	24	ТР15
	(60)	100	2,5	2,5						3,3	2,5	ТР16
	(70)	100	5	5						3,3	24	ТР15
	(70)	100	5	5						3,3	2,5	ТР16
1	5	10	3	3	10	0,55	(1,2)				20	ТР11
1	5	10	3	3	10	0,55	(1,2)				20	ТР11
1		(1)	5	1,5	10		(1,5)	170	220		20	ТР11
1	3		3	1,6	3,5	0,2	(0,6)				20	ТР11
1	3		3	1,6	3,5	0,2	(0,6)				20	ТР11
	20	50	2,5	3	4	1,7	7			1	21	ТР17
	5	150	2,5	2,5			(1,3)	100	2300		20	ТР11
	5	150	2,5	2,5			(1,3)	100	2300		20	ТР11
	5	150	2,5	2,5			(1,3)	100	2300		20	ТР11
	(1,5)	2	2	2,5							2	ТР18
	(1,5)	2	2	2,5							2	ТР18
	(1,5)	2	2	2,5							2	ТР18
	(1,5)	2	2	2,5							2	ТР18
10	100	2	2,5		2,5	0,3	0,4	500			22	ТР15
30,5	(3)	50		2,5	2			500			22	ТР15
12	1		5	5			2,5	1000			2,5	ТР16
12	1		5	5			2,5	1000			2,5	ТР16
12	1		5	5			2,5	1000			2,5	ТР16
12	1		5	5			2,5	1000			2,5	ТР16
6	10	150	0,6...2	1,8...2	0,75...2	0,35...1	1...3			1,5	16,5	ТР11
	20	50	2,5	3	5	2,2	7			1,25	21	ТР17
	20	50	2,5	3	4	1,7	5,5			1	21	ТР17
	20	50	2,5	3	5	2,2	7			1,25	21	ТР17
	20	50	2,5	3	4	1,7	5,5			1	21	ТР17
12	1		2	3			2,5	1000			20	ТР11
12	1		2	3			2,5	1000			20	ТР11
12	1		2	3			2,5	1000			20	ТР11
12	1		2	3			2,5	1000			20	ТР11
	(3)	50	2				(1,2)				22	ТР11
	(3)	50	2				(1,2)				22	ТР11
	(3)	50	2				(1,2)				22	ТР11
6	10	150	0,6.. 2	1,8...2	0,75. .2	0,35. .1	1—3			1,5	16,5	ТР11
	20	50	2,5	3	5	2,2	7			0,625	21	ТР17
	20	50	2,5	3	4	1,7	5,5			0,65	21	ТР17
10	(3)	2	2	4	4,5	1	6	400	350		20	ТР11
10	(3)	2	2	4	4,5	1	6	400	350		20	ТР11
10	(3)	2	2	4	4,5	1	6	400	350		20	ТР11
4	10	150	0,6...2	1,8...2	0,75...2	0,35...1	1. .3			1,1	25	ТР11
	20	50	2,5	3	5	2,2	7			0,625	21	ТР17
	20	50	2,5	3	4	1,7	5,5			0,65	21	ТР17
4	10	150	0,6...2	1,8...2	0,75...2	0,35...1	1...3			1,1	25	ТР11
	20	50	2,5	3	5	2,2	7			0,625	21	ТР17
4	10	150	0,6...2	1,8...2	0,75...2	0,35 ..1	1...3			0,7	25	ТР11
4	10	150	0,6...2	1,8...2	0,75...2	0,35.. 1	1...3			0,5	25	ТР11
45	0,01	0,01	1					150		10	1	ТР19
75	0,15	0,3	1					150		10	1	ТР19
45	0,15	0,3	1					150		10	1	ТР19
45	0,15	0,3	1					150		10	1	ТР19

Окончание табл. 3.89

Тип	$I_{K\,max}$, А	$I_{K,\,и\,max}$, А	$U_{КЭR}$ $(U_{КЭ})$, В	$U_{КЭR,\,и}$ $(U_{КЭО\,гр})$, В	$R_{бэ}$, кОм	$P_к$, Вт	$I_Б$ $(I_Э)$, А	$U_{КБ\,max}$, В	$U_{ЭБ\,max}$, В	$h_{21Э}$ $(h_{21э})$
КТ626Д	0,5	1,5	(20)	(20)	0,1	6,5		20		40...250
ГТ403А	1,25		(30)				0,4	45	20	(20...60)
ГТ403Б	1,25		(30)				0,4	45	20	(50...150)
ГТ403В	1,25		(45)				0,4	60	20	(20...60)
ГТ403Г	1,25		(45)				0,4	60	20	(50...150)
ГТ403Д	1,25		(45)				0,4	60	30	(50...150)
ГТ403Е	1,25		(45)				0,4	60	20	30
ГТ403Ж	1,25		(60)				0,4	80	20	(20...60)
ГТ403И	1,25		(60)				0,4	80	20	30
ГТ403Ю	1,25		(30)				0,4	45	20	(30...60)
КТ814А	1,5	3	(40)	(25)	0,1	10	0,5		5	40
КТ814Б	1,5	3	(50)	(40)	0,1	10	0,5		5	40
КТ814В	1,5	3	70	(60)	0,1	10	0,5		5	40
КТ814Г	1,5	3	100	(80)	0,1	10	0,5		5	30
КТ816А	3	6	40	(25)	1	25	1		5	25
КТ816Б	3	6	45	(45)	1	25	1		5	25
КТ816В	3	6	60	(60)	1	25	1		5	25
КТ816Г	3	6	100	(80)	1	25	1		5	25
ГТ703А	3,5		20	25	0,05	15				30...70
ГТ703Б	3,5		20	25	0,05	15				50...100
ГТ703В	3,5		30	35	0,05	15				30...70
ГТ703Г	3,5		30	35	0,05	15				50...100
ГТ703Д	3,5		40	50	0,05	15				20...45
КТ837А	7,5		70		0,05	30	1	80	15	10...40
КТ837Б	7,5		70		0,05	30	1	80	15	20...80
КТ837В	7,5		70		0,05	30	1	80	15	50...150
КТ837Г	7,5		55		0,05	30	1	60	15	10..40
КТ837Д	7,5		55		0,05	30	1	60	15	20...80
КТ837Е	7,5		55		0,05	30	1	60	15	50...150
КТ837Ж	7,5		40		0,05	30	1	45	15	10...40
КТ837И	7,5		40		0,05	30	1	45	15	20...80
КТ837К	7,5		40		0,05	30	1	45	15	50...150
КТ837Л	7,5		70		0,05	30	1	80	15	10...40
КТ837М	7,5		70		0,05	30	1	80	15	20...80
КТ837Н	7,5		70		0,05	30	1	80	15	50...150
КТ837П	7,5		55		0,05	30	1	60	15	10...40
КТ837Р	7,5		55		0,05	30	1	60	15	20...80
КТ837С	7,5		55		0,05	30	1	60	15	50...150
КТ837Т	7,5		40		0,05	30	1	45	15	10...40
КТ837У	7,5		40		0,05	30	1	45	15	20...80
КТ837Ф	7,5		40		0,05	30	1	45	15	50...150
ГТ810А	10	10	200	250		15	1,5	200	1,4	15
КТ818А	10	15	40	(25)	0,1	60	3		5	15
КТ818Б	10	15	50	(40)	0,1	60	3		5	20
КТ818В	10	15	70	(60)	0,1	60	3		5	15
КТ818Г	10	15	90	(80)	0,1	60	3		5	12
ГТ806А	15	20	(75)			30	3		1,5	10...100
ГТ806Б	15	20	(100)			30	3		1,5	10...100
ГТ806В	15	20	(120)			30	3		1,5	10...100
ГТ806Г	15	20	(50)			30	3		1,5	10...100
ГТ806Д	15	20	(140)			30	3		1,5	10...100
КТ818АМ	15	20	40	(25)	0,1	100	3		5	15
КТ818БМ	15	20	50	(40)	0,1	100	3		5	20
КТ818ВМ	15	20	70	(60)	0,1	100	3		5	15
КТ818ГМ	15	20	90	(80)	0,1	100	3		5	12
КТ825Г	20	30	90	(70)	1	125	0,5		5	750
КТ825Д	20	30	60	(45)	1	125	0,5		5	750
КТ825Е	20	30	30	(25)	1	125	0,5		5	750

$f_{гр}$, МГц	$I_{КБО}$ ($I_{КЭR}$), mA	$I_{ЭБО}$ ($I_{КЭК}$), мА	$U_{КЭ\ нас}$, В	$U_{БЭ\ нас}$, В	$t_{рас}$, мкс	$t_{вкл}$, мкс	$t_{выкл}$ ($t_{сп}$), мкс	$C_к$, пФ	$C_э$, пФ	$R_{T,\ п-к}$, °С/Вт	Масса, г	Корпус (рис 3 20)
45	0,15	0,3	1					150		10	1	ТР19
0,008	0,05	0,05	0,5	0,8						15	4	ТР20
0,008	0,05	0,05	0,5	0,8						15	4	ТР20
0,008	0,05	0,05	0,5	0,8						15	4	ТР20
0,008	0,05	0,05	0,5	0,8						15	4	ТР20
0,008	0,05	0,05	0,5	0,8						15	4	ТР20
0,008	0,05	0,05	0,5	0,8						15	4	ТР20
0,008	0,07	0,07	0,5	0,8						15	4	ТР20
0,008	0,07	0,07	0,5	0,8						15	4	ТР20
0,008	0,05	0,05	0,5	0,8						15	4	ТР20
3	0,05		0,6	1,2				60	75		1	ТР12
3	0,05		0,6	1,2				60	75		1	ТР12
3	0,05		0,6	1,2				60	75		1	ТР12
3	0,05		0,6	1,2				60	75		1	ТР12
3	0,1		0,6	1,5				60	115		0,7	ТР12
3	0,1		0,6	1,5				60	115		0,7	ТР12
3	0,1		0,6	1,5				60	115		0,7	ТР12
3	0,1		0,6	1,5				60	115		0,7	ТР12
0,01	0,5	0,5	0,6	1						3	15	ТР21
0,01	0,5	0,5	0,6	1						3	15	ТР21
0,01	0,5	0,5	0,6	1						3	15	ТР21
0,01	0,5	0,5	0,6	1						3	15	ТР21
0,01	0,5	0,5	0,6	1						3	15	ТР21
	0,15	0,3	2,5	1,5						3,33	2,5	ТР16
	0,15	0,3	2,5	1,5						3,33	2,5	ТР16
	0,15	0,3	2,5	1,5						3,33	2,5	ТР16
	0,15	0,3	0,5	1,5						3,33	2,5	ТР16
	0,15	0,3	0,5	1,5						3,33	2,5	ТР16
	0,15	0,3	0,5	1,5						3,33	2,5	ТР16
	0,15	0,3	2,5	1,5						3,33	2,5	ТР16
	0,15	0,3	2,5	1,5						3,33	2,5	ТР16
	0,15	0,3	2,5	1,5						3,33	2,5	ТР16
	0,15	0,3	2,5	1,5						3,33	2,5	ТР16
	0,15	0,3	2,5	1,5						3,33	2,5	ТР16
	0,15	0,3	2,5	1,5						3,33	2,5	ТР16
	0,15	0,3	0,9	1,5						3,33	2,5	ТР16
	0,15	0,3	0,9	1,5						3,33	2,5	ТР16
	0,15	0,3	0,9	1,5						3,33	2,5	ТР16
	0,15	0,3	0,5	1,5						3,33	2,5	ТР16
	0,15	0,3	0,5	1,5						3,33	2,5	ТР16
	0,15	0,3	0,5	1,5						3,33	2,5	ТР16
	20	15	0,7	0,8	5					2,5	12	ТР22
7	1		1,5	3			2,5	600			2,5	ТР16
7	1		2	3			2,5	600			2,5	ТР16
7	1		2	3			2,5	600			2,5	ТР16
7	1		2	3			2,5	600			2,5	ТР16
10	15	8	0,6	1			30			2	28	ТР23
10	15	8	0,6	1			30			2	28	ТР23
10	15	8	0,6	1			30			2	28	ТР23
10	15	8	0,6	1			30			2	28	ТР23
10	15	8	0,6	1			30			2	28	ТР23
7	1		2	3			2,5	600			20	ТР11
7	1		2	3			2,5	600			20	ТР11
7	1		2	3			2,5	600			20	ТР11
7	1		2	3			2,5	600			20	ТР11
			2	3		1	4,5	600	600		20	ТР11
			2	3		1	4,5	600	600		20	ТР11
			2	3		1	4,5	600	600		20	ТР11

Таблица 3.90. **Транзисторы маломощные высокочастотные**

Тип	$I_{K\,max}$, мА	$I_{K\,и\,max}$, мА	$P_{K\,max}$, мВт	$P_{K\,и\,max}$, мВт (Вт)	$U_{КЭR}$, ($U_{КЭ}$), В	$U_{КБ\,max}$, В	$U_{КЭО\,гр}$, В	$U_{ЭБ\,max}$, В	f_{21}, мГц	$h_{21Э}$ ($h_{21э}$)	$\|h_{21э}\|$	$h_{22э}$, мкСм
												n-p-n
КТ301Г	10	20	58		30	30	30	3	(60)	(10...32)	1,5	3
КТ301Д	10	20	58		30	30	30	3	(60)	(20...60)	1,5	3
КТ301Е	10	20	58		30	30	30	3	(60)	(40...120)	1,5	3
КТ301Ж	10	20	58		30	30	30	3	(60)	(80...300)	1,5	3
КТ339А	25		260		(25)	40		4	100	25	3	
КТ312А	30	60	225	450	20	20	20	4	80	(10...100)	4	
КТ312Б	30	60	225	450	35	35	35	4	120	(25...100)	6	
КТ312В	30	60	225	450	20	20	20	4	120	(50...280)	6	
КТ358А	30	60	100	200	15	15		4	80	(10...100)		
КТ358Б	30	60	100	200	30	30		4	120	(25...100)		
КТ358В	30	60	100	200	15	15		4	120	(50...280)		
КТ601А	30		250		100	100		2	40	(16)		
КТ601АМ	30		250		100	100		2	40	(16)		
КТ315Ж	50		100		15	15	15	6	100	30...250	1,5	0,3
КТ315И	50		100		60	60	30	6	100	>30	2,5	0,3
КТ340А	50	200	150		(15)	15		5	300	100...150		
КТ340Б	50	200	150		(20)	20		5	300	>100		
КТ340В	500	200	150		(15)	15		5	300	>35		
КТ340Д	50	200	150		(15)	15		5	300	>40		
КТ342А	50	300	250		30		25	5	100	25...250	2,5	
КТ342Б	50	300	250		25		20	5	100	50...500	3	
КТ342В	50	300	250		10		10	5	100	100...1000	3	
КТ373А	50	200	150		30		25	5	100	100...250	3	
КТ373Б	50	200	150		25		20	5	100	200...600	3	
КТ373В	50	200	150		10		10	5	100	500...1000	3	
КТ373Г	50	200	150		60		25	5	100	50...125	3	
КТ340Г	75	500	150		(15)	15		5	300	>16		
КТ602А	75	500	650		100	120	70	5	150	20...80		
КТ602Б	75	500	650		100	120	70	5	150	>50		
КТ315А	100		150		25	25	15	6	100	20...90	2,5	0,3
КТ315Б	100		150		20	20	15	6	100	50...350	2,5	0,3
КТ315В	100		150		40	40	30	6	100	20...90	2,5	0,3
КТ315Г	100		150		35	35	30	6	100	50...350	2,5	0,3
КТ315Д	100		150		40	40	30	6	100	20...90	2,5	0,3
КТ315Е	100		150		35	35	25	6	100	50...350	2,5	0,3
КТ375А	100	200	200	400	60	60			100	10...100	2,5	
КТ375Б	100	200	200	400	30	30			100	50...280	2,5	
КТ3102А	100	200	250		(50)	50	30	5	100	100...250	1,5	
КТ3102Б	100	200	250		(50)	50	30	5	100	200...500	1,5	
КТ3102В	100	200	250		(30)	30	20	5	100	200...500	1,5	
КТ3102Г	100	200	250		(20)	20	15	5	100	400...1000	3	
КТ3102Д	100	200	250		(30)	30	20	5	100	200...500	1,5	
КТ3102Е	100	200	250		(50)	50	15	5	100	400...1000	3	
КТ605А	100	200	400		250	300		5	40	10...40		
КТ605АМ	100	200	400		250	300		5	40	10...40		
КТ605Б	100	200	400		250	300		5	40	30...120		
КТ605БМ	100	200	400		250	300		5	40	30...120		
КТ618А	100		500		(250)	300		5		30	2	
КТ603А	300	600	500		30	30		3	200	10...80		
КТ603Б	300	600	500		30	30		3	200	>60		
КТ603В	300	600	500		15	15		3	200	10...80		
КТ603Г	300	600	500		15	15		3	200	>60		
КТ603Д	300	600	500		10	10		3	200	20...80		
КТ603Е	300	600	500		10	10		3	200	60...200		
КТ3117А	400	800	300	800	50	60		4	200	40...200		
КТ608А	400	800	500		60	60		5	200	20...80	2	
КТ608Б	400	800	500		60	60		5	200	400...160	2	
КТ616А	400	600	300		20	20		4		40		

$h_{11э}$, Ом	$I_{КБО}$, мкА	$I_{ЭБО}$, мкА	$U_{КЭ нас}$, В	$U_{БЭ нас}$, В	$\tau_к$, нс	$t_{рас}$, нс	$t_{вкл}$, нс	$t_{выкл}$ мкс	$C_К$, пФ	$C_Э$, пФ	$R_{Тп-с}$, °С/Вт	Масса, г	Корпус (рис 3 20)
	10	10	3	2,5	4,5	5			10	80	600	0,5	ТР24
	10	10	3	2,5	4,5	5			10	80	600	0,5	ТР24
	10	10	3	2,5	4,5	5			10	80	600	0,5	ТР24
	10	10	3	2,5	4,5	5			10	80	600	0,5	ТР24
					25				2			0,4	ТР3
	10	10	0,8	1,1	0,5	100			5	20	400	1	ТР25
	10	10	0,8	1,1	0,5	100			5	20	400	1	ТР25
	10	10	0,8	1,1	0,5	100			5	20	400	1	ТР25
	10	10	0,8	1,1	0,5						700	0,2	ТР26
	10	10	0,8	1,1	0,5						700	0,2	ТР26
	10	10	0,8	1,1	0,5						700	0,2	ТР26
	500	100			0,6				15			2	ТР2
	500	100			0,6				15			0,7	ТР2
40	1	30	0,5	0,9	1000				10			0,18	ТР27
40	1	50							7			0,18	ТР27
	1		0,2		0,045	0,01			3	7		0,5	ТР3
	1		0,25		0,04	0,015			3,7	7		0,5	ТР3
	1		0,4		0,085	0,015			3,7	7		0,5	ТР3
	1		0,3		0,15	0,075			6	7		0,5	ТР3
	1	30	0,1	0,9					8			0,5	ТР3
	1	30	0,1	0,9					8			0,5	ТР3
	1	30	0,1	0,9					8			0,5	ТР3
	0,05	30	0,1	0,9	0,2				8			0,2	ТР28
	0,05	30	0,1	0,9	0,3				8			0,2	ТР28
	0,05	30	0,1	0,9	0,7				8			0,2	ТР28
	0,05	30	0,1	0,9	0,2				8			0,2	ТР28
	1		0,6		0,085	0,015			3,7	7		0,5	ТР3
	70	100	3	3	0,3				4	25	150	5	ТР29
	70	100	3	3	0,3				4	25	150	5	ТР29
40	1	30	0,4	1,1	300				7			0,18	ТР27
40	1	30	0,4	1,1	500				7			0,18	ТР27
40	1	30	0,4	1,1	500				7			0,18	ТР27
40	1	30	0,4	1,1	500				7			0,18	ТР27
40	1	30	1	1,5	1000				7			0,18	ТР27
40	1	30	1	1,5	1000				7			0,18	ТР27
	1	1	0,4	1	0,3				5	20		0,25	ТР30
	1	1	0,4	1	0,3				5	20		0,25	ТР30
	0,05	10			100				6		400	0,5	ТР3
	0,05	10			100				6		400	0,5	ТР3
	0,05	10			100				6		400	0,5	ТР3
	0,05	10			100				6		400	0,5	ТР3
	0,05	10			100				6		400	0,5	ТР3
	0,05	10			100				6		400	0,5	ТР3
	20	50	8						7	50	300	2	ТР2
	20	50	8						7	50	300	1	ТР12
	20	50	8						7	50	300	2	ТР2
	20	50	8						7	50	300	1	ТР12
	50	100							7	50	200	2	ТР31
	10	3	1	1,5	0,4	100			15	40	200	2	ТР2
	10	3	1	1,5	0,4	100			15	40	200	2	ТР2
	5	3	1	1,5	0,4	100			15	40	200	2	ТР2
	5	3	1	1,5	0,4	100			15	40	200	2	ТР2
	1	3	1	1,5	0,4	100			15	40	200	2	ТР2
	1	3	1	1,5	0,4	100			15	40	200	2	ТР2
	10		0,6	1,2					15	100		0,5	ТР3
	10	10	1	2		120			15	50	200	2	ТР2
	10	10	1	2		120			15	50	200	2	ТР2
	15	15	0,6	2					15	50	260	0,6	ТР31

Продолжение табл. 3.90

Тип	$I_{K\,max}$, мА	$I_{K,\,и\,max}$, мА	$P_{K\,max}$, мВт	$P_{K,\,и\,max}$, мВт (Вт)	$U_{КЭR}$ ($U_{КЭ}$), В	$U_{КБ\,max}$, В	$U_{КЭ0гр}$, В	$U_{ЭБ\,max}$, В	f_{21}, мГц	$h_{21Э}$ ($h_{21Б}$)	$\|h_{21э}\|$	$h_{22э}$, мкСм
КТ616Б	400	600	300		20	20		4		25		
КТ617А	400	600	500		20	30		4	200	30	1,5	
КТ646А	500	700	1000	1200	50	60		4		40...200	2	
КТ630А	1000	2000	800		120	120	90	7	50	40...120		
КТ630Б	1000	2000	800		120	120	80	7	50	80...240		
КТ630В	1000	2000	800		150	150	100	7	50	40...120		
КТ630Г	1000	2000	800		100	100	60	7	50	40...120		
КТ630Е	1000	2000	800		60	60	50	7	50	160...480		
												p-n-p
ГТ309А	10		50		10				120	20...70	6	5
ГТ309Б	10		50		10				120	60...180	6	5
ГТ309В	10		50		10				80	20...70	4	5
ГТ309Г	10		50		10				80	60...180	4	5
ГТ309Д	10		50		10				40	20...70	2	5
ГТ309Е	10		50		10				40	60...180	2	5
ГТ310А	10		20		10	12			10	(20...70)	8	3
ГТ310Б	10		20		10	12			10	(60...180)	8	3
ГТ310В	10		20		10	12			10	(20...70)	6	3
ГТ310Г	10		20		10	12			10	(60...180)	6	3
ГТ310Д	10		20		10	12			10	(20...70)	5	3
ГТ310Е	10		20		10	12			10	(60...180)	5	3
ГТ322А	10		50		10	25				30...100	4	1
ГТ322Б	10		50		6,0	25				50...120	4	1
ГТ322В	10		50		10	25				20...120	2,5	1
П414	10	30	100		10	10		1	(60)	(25...100)		5
П414А	10	30	100		10	10		1	(60)	(60...120)		5
П414Б	10	30	100		10	10		1	(60)	(100...200)		5
П415	10	30	100		10	10		1	(120)	(25...100)		5
П415А	10	30	100		10	10		1	(120)	(60...120)		5
П415Б	10	30	100		10	10		1	(120)	(100...200)		5
П422	20		100		10				60	(24...100)	2,5	5
П423	20		100		10				120	(24...100)	5	5
П416	25	120	100	360	12	15	13	3		(25...80)	2	5
П416А	25	120	100	360	12	15	10	3		(60...125)	3	5
П416Б	25	120	100	360	12	15	10	3		(90...200)	4	5
КТ357А	40	80	100	200	(6)	6		3,5		20...100	3	
КТ357Б	40	80	100	200	6	6		3,5		60...300	3	
КТ375В	40	80	100	200	20	20		3,5		20...100	3	
КТ357Г	40	80	100	200	20	20		3,5		60...300	3	
ГТ308А	50	120	150	360	12	20	15	3		25...75	4,5	
ГТ380Б	50	120	150	360	12	20	15	3		50...120	6	
ГТ308В	50	120	150	360	12	20	15	3		80...150	6	
КТ343А, Б	50	150	150		17			4		30...50	3	
КТ343В	50	150	150		9			4		30	3	
КТ361А	50		150		25	25		4		20...90	2,5	
КТ361Б	50		150		20	20		4		50...350	2,5	
КТ361В	50		150		40	40		4		40...160	2,5	
КТ361Г	50		150		35	35		4		50...350	2,5	
КТ361Д	50		150		40	40		4		20...90	2,5	
КТ361Е	50		150		35	35		4		50...350	2,5	
КТ3107А	100	200	300		(45)	50		5	200	70...140		
КТ3107Б	100	200	300		(45)	50		5	200	120...220		
КТ3107В	100	200	300		(25)	30		5	200	70...140		
КТ3107Г	100	200	300		(25)	30		5	200	120...220		
КТ3107Д	100	200	300		(25)	30		5	200	180...460		
КТ3107Е	100	200	300		(20)	25		5	200	120...220		
КТ3107Ж	100	200	300		(20)	25		5	200	180...460		
КТ3107И	100	200	300		(45)	50		5	200	180...460		

$h_{11э}$, Ом	$I_{КБО}$, мкА	$I_{ЭБО}$, мкА	$U_{КЭ нас}$, В	$U_{БЭ нас}$, В	$\tau_к$, нс	$t_{рас}$, нс	$t_{вкл}$, нс	$t_{выкл}$, мкс	$C_К$, пФ	$C_Э$, пФ	$R_{Тп-с}$, °С/Вт	Масса, г	Корпус (рис 3 20)
	15	15	0,6	2					15	50	260	0,6	ТР31
	15	15	0,7		0,12				15	50	215	0,84	ТР31
	10	10	1	1,2	0,12				10	80		1	ТР12
500	1	0,1	0,3	1,1			0,1	0,25	15	65		2	ТР32
500	1	0,1	0,3	1,1			0,1	0,25	15	65		2	ТР32
500	1	0,1	0,3	1,1			0,1	0,25	15	65		2	ТР32
500	1	0,1	0,3	1,1			0,1	0,25	15	65		2	ТР32
500	1	0,1	0,3	1,1			0,1	0,25	15	65		2	ТР32
38	5				0,5				10		100	0,5	ТР1
38	5				0,5				10		100	0,5	ТР1
38	5				1				10		100	0,5	ТР1
38	5				1				10		100	0,5	ТР1
38	5				1				10		100	0,5	ТР1
38	5				1				10		100	0,5	ТР1
38					0,3						200	0,1	ТР8
38					0,3						200	0,1	ТР8
38					0,3						200	0,1	ТР8
38					0,3						200	0,1	ТР8
38					0,5						200	0,1	ТР8
38					0,5						200	0,1	ТР8
34					0,05				1,8		700	0,6	ТР33
34	4				0,1				1,8		700	0,6	ТР33
34	4				0,2				2,5		700	0,6	ТР33
	4				1				10			2,5	ТР34
	4				1				10			2,5	ТР34
	4				1				10			2,5	ТР34
	4				0,5				10			2,5	ТР34
	4				0,5				10			2,5	ТР34
	4				0,5				10			2,5	ТР34
38	5				1				10			2,2	ТР35
38	5				0,5				10			2,2	ТР35
	5	100	2	0,5	0,5	1000			8	40		2,2	ТР36
	5	100	1,7	0,5	0,5	1000			8	40		2,2	ТР36
	5	100	1,7	0,5	0,5	1000			8	40		2,2	ТР36
	5	5	0,3	1		150			7	10		0,21	ТР26
	5	5	0,3	1		150			7	10		0,2	ТР26
	5	5	0,3	1		150			7	10		0,2	ТР26
	5	5	0,3	1		150			7	10		0,2	ТР26
	5	50	1,5	0,45	0,4	1000			8	22		2,2	ТР36
	5	50	1,2	0,45	0,4	1000			8	22		2,2	ТР36
	5	50	1,2	0,45	0,5	1000			8	22		2,2	ТР36
	1	100	0,3			10			6	8		0,5	ТР2
	1	100	0,3			10			6	8		0,5	ТР2
	1	1			0,5				9			0,3	ТР27
	1	1			0,5				9			0,3	ТР27
	1	1			1				9			0,3	ТР27
	1	1			0,5				7			0,3	ТР27
	1	1			0,25				7			0,3	ТР27
	1	1			1				7			0,3	ТР27
	0,1	0,1	0,5	1					7		420	0,3	ТР37
	0,1	0,1	0,5	1					7		420	0,3	ТР37
	0,1	0,1	0,5	1					7		420	0,3	ТР37
	0,1	0,1	0,5	1					7		420	0,3	ТР37
	0,1	0,1	0,5	1					7		420	0,3	ТР37
	0,1	0,1	0,5	1					7		420	0,3	ТР37
	0,1	0,1	0,5	1					7		420	0,3	ТР37
	0,1	0,1	0,5	1					7		420	0,3	ТР37
	0,1	0,1	0,5	1					7		420	0,3	ТР37

Окончание табл. 3.90.

Тип	$I_{K\ max}$, мА	$I_{K\ и\ max}$ мА	$P_{K\ max}$, мВт	$P_{K\ и\ max}$, мВт (Вт)	$U_{КЭR}$, $(U_{КЭ})$, В	$U_{КБ\ max}$, В	$U_{КЭО\ гр}$, В	$U_{ЭБ\ max}$, В	f_{21} мГц	$h_{21Э}$ $(h_{21э})$	$\|h_{21э}\|$	$h_{22э}$, мкСм
КТ3107К	100	200	300		(25)	30		5	200	380...800		
КТ3107Л	100	200	300		(20)	25		5	200	380...800		
ГТ320А	150	300	200	1000	12	20	14	3	80	20...80		
ГТ320Б	150	300	200	1000	12	20	12	3	120	50...120		
ГТ320В	150	300	200	1000	10	20	10	3	200	80...250		
ГТ321А	200	2000	160	(20)	50	60	45	4	60	20...60		
ГТ321Б	200	2000	160	(20)	40	60	45	4	60	40...120		
ГТ321В	200	2000	160	(20)	50	60	45	4	60	80...200		
ГТ321Г	200	2000	160	(20)	40	45	35	4	60	20...60		
ГТ321Д	200	2000	160	(20)	40	45	35	4	60	40.. 120		
ГТ321Е	200	2000	160	(20)	40	45	35	4	60	80...200		
КТ345А	200	300	100	300	(20)	20		4	350	20...60		
КТ345Б	200	300	100	300	(20)	20		4	350	50...85		
КТ345В	200	300	100	300	(20)	20		4	350	70...105		
КТ351А	200	400	300		15	20		5	200	20...80		
КТ351Б	200	400	300		15	20		5	200	50...200		
КТ352А	200	200	300		15	20		5	200	25...120		
КТ352Б	200	200	300		15	20		5	200	70...300		
КТ3108А	200		300	360	60	60		5	250	50.. 150		
КТ3108Б	200		300	360	45	45		5	250	50...150		
КТ3108В	200		300	360	45	45		5	300	100...300		
КТ620А	200		225		20	50		3		100	2	
КТ620Б	200		225		20	50		3		30...100	2	
КТ644А	600	1000	1000	(20)		60	60	5		20	2,8	
КТ644Б	600	1000	1000	(20)		60	60	5		100	2,8	
КТ644В	600	1000	1000	(20)		60	40	5		40	2,8	
КТ644Г	600	1000	1000	(20)		60	40	5		100	2,8	
КТ639А	1500	2000	1000	(60)		45	45	5	80	40...100	4	
КТ639Б	1500	2000	1000	(60)		45	45	5	80	63 . 160	4	
КТ639В	1500	2000	1000	(60)		45	45	5	80	100...250	4	
КТ639Г	1500	2000	1000	(60)		60	60	5	80	40...100	4	
КТ639Д	1500	2000	1000	(60)		60	60	5	80	63...160	4	

Таблица 3.91. **Транзисторы мощные высокочастотные**

Тип	$I_{K\ max}$, А	$I_{K\ и\ max}$, А	$P_{K\ max}$, Вт	$P_{K,\ и\ max}$, Вт	$I_{Э\ max}$, А	$I_{Б\ max}$, А	$U_{КЭR}$, $(U_{КЭ})$, В	$U_{КБ\ max}$, В	$U_{КЭО\ гр}$, В	$U_{ЭБ\ max}$, В	$P_{вых}$, Вт	$K_{ур}$, дБ	$\eta_к$, %	f_{h21}, МГц
														n-p-n
КТ940А	0,1	0,3	1,2			0,05	300	300		5				90
КТ940Б	0,1	0,3	1,2			0,05	250	250		5				90
КТ940В	0,1	0,3	1,2			0,05	160	160		5				90
КТ969А	0,1	0,2	6			0,05	250	300		5				60
КТ920А	0,5	1	5			0,25	36			4	2	7	55	400
КТ922А	0,8	1,5	8				65			4	5	10	50	300
КТ928А	0,8	1,2	2	3,6			60	60	40	5				250
КТ928Б	0,8	1,2	2	3,6			60	60	40	5				250
КТ929А	0,8	1,5	6				30	30		3	2	8	55	400
КТ920Б	1	2	10			0,5	36			4	5	6	55	400
КТ922Б	1,5	4,5	20				65			4	20	5,5	50	300
КТ922Г	1,5	4,5	20				65			4	17	5	50	300
КТ961А	1,5	2	12,5			0,3	100	100	80	5				50

$h_{11э}$, Ом	$I_{ЭБО}$, мкА	$I_{ЭБО}$, мкА	$U_{КЭ нас}$, В	$U_{БЭ нас}$, В	$\tau_к$, нс	$t_{рас}$, нс	$t_{вкл}$, нс	$t_{выкл}$, мкс	$C_К$, пФ	$C_Э$, пФ	$R_{Тп-с}$, °C/Вт	Масса, г	Корпус (рис 3 20)
	0,1	0,1	0,5	1					7		420	0,3	TP37
	0,1	0,1	0,5	1					7		420	0,3	TP37
	10	50	2	0,5	0,5	400			8	25	200	2,2	TP36
	10	50	2	0,5	0,5	500			8	25	200	2,2	TP36
	10	50	2	0,5	0,6	600			8	25	200	2,2	TP36
	500		2,5	1,3	0,6	1000			80	600	250	2,2	TP36
	500		2,5	1,3	0,6	1000			80	600	250	2,2	TP36
	500	800	2,5	1,3	0,6	1000			80	600	250	2,2	TP36
	500	800	2,5	1,3	0,6	1000			80	600	250	2,2	TP36
	500	800	2,5	1,3	0,6	1000			80	600	250	2,2	TP36
	500	800	2,5	1,3	0,6	1000			80	600	250	2,2	TP36
	1	1	0,3	1,1					15	30	1100	0,5	TP38
	1	1	0,3	1,1					15	30	1100	0,5	TP38
	1	1	0,3	1,1					15	30	1100	0,5	TP38
	1	10	0,6	1,2					20	30	400	0,3	TP37
	1	10	0,9	1,1					20	30	400	0,3	TP37
	1	10	0,6	1,1					15	30	400	0,3	TP37
	1	10	0,6	1,1					15	30	400	0,3	TP37
	0,2	0,1	0,25	1	0,25	175	75		5	6	500	0,5	TP3
	0,2	0,1	0,25	1	0,25	175	75		5	6	500	0,5	TP3
	0,2	0,1	0,25	1	0,25				5	6	500	0,5	TP3
	5		1	1,8		100					400	1	TP2
	5		1	1,8		100					150	2	TP2
	0,1	0,1	0,4	1,3		180					115	1	TP12
	0,1	0,1	0,4	1,3		180					115	1	TP12
	0,1	0,1	0,4	1,3		180					115	1	TP12
	0,1	0,1	0,4	1,3		180					115	1	TP12
	0,1	0,1	0,5	1,25		200			50	200	115	1	TP12
	0,1	0,1	0,5	1,25		200			50	200	115	1	TP12
	0,1	0,1	0,5	1,25		200			50	200	115	1	TP12
	0,1	0,1	0,5	1,25		200			50	200	115	1	TP12
	0,1	0,1	0,5	1,25		200			50	200	115	1	TP12

$h_{21Э}$, ($h_{21э}$)	$\|h_{21э}\|$	$I_{КБО}$, мкА (мА)	$I_{ЭБО}$, мкА (мА)	$U_{КЭнас}$, В	$U_{БЭ нас}$, В	$\tau_к$, нс (пс)	$t_{вкл}$, ($t_{нр}$), мкс	$t_{рас}$, нс (мкс)	$C_к$, пФ	$C_э$, пФ	$R_{Т п-с}$ ($R_{Тп-к}$), °C/Вт	Масса, г	Корпус (рис 12 20)
25		0,05	0,05	1					5,5		104	0,7	TP12
25		0,05	0,05	1					5,5		104	0,7	TP12
25		0,05	0,05	1					5,5		104	0,7	TP12
50...250		0,05	0,05	1					1,8		125	0,8	TP12
10...100	4	250	250	0,75		(20)			15	55	(20)	4,5	TP39
10...150	3	(5)	500	0,6		(20)			15	100	(15)	4,5	TP39
20...100		1	1	1	1,5	0,1		250	10	100		3	TP40
50...250		1	1	1	1,5	0,1		250	10	100		3	TP40
25...50	4	(5)	(5)			(25)			20		(20)	4,5	TP39
10...100	4			0,75		(20)			25	100	(20)	4,5	TP39
10...150	3	(40)	(4)	0,7		(20)			35	350	(6)	4,5	TP39
10.. 150	3	(40)	(6)	0,7		(20)			35	350	(6)	4,5	TP39
40...100		10	100	0,5							(10)	0,8	TP12

Окончание табл. 3.91

Тип	$I_{К\,max}$, А	$I_{К\,и\,max}$, А	$P_{К\,max}$, Вт	$P_{К,\,и\,max}$, Вт	$I_{Э\,max}$, А	$I_{Б\,max}$, А	$U_{КЭR}$, ($U_{КЭ}$), В	$U_{КБ\,max}$, В	$U_{КЭО\,гр}$, В	$U_{ЭБ\,max}$, В	$P_{вых}$, Вт	$K_{УР}$, дБ	$\eta_к$, %	f_{h21}, МГц
КТ961Б	1,5	2	12,5			0,3	80	80	60	5				50
КТ961В	1,5	2	12,5			0,3	60	60	45	5				50
КТ934А	2	6	25			0,3	45	45	45	5				30
КТ943Б	2	6	25			0,3	60	60	60	5				30
КТ943В	2	6	25			0,3	80	100	80	5				30
КТ943Г	2	6	25			0,3	80	100	80	5				30
КТ943Д	2	6	25			0,3	60	100	60	5				30
КТ903А	3	10	30	60			80			4	10	3		120
КТ903Б	3	10	30	60			80			4	10	3		120
КТ920В	3	7	25			1,5	36			4	20	3	55	400
КТ920Г	3	7	25			1,5	36			4	15	3	55	350
КТ922В	3	9	40				65			4	40	4	50	300
КТ922Д	3	9	40				65			4	35	3,5	50	250
КТ921А	3,5		12,5			1	65			4	12,5	8	50	100
КТ921Б	3,5		12,5			1	65			4	12,5	5	50	100
КТ902А	5		30			2	110	65		5	20	7		35
КТ908А	10		50			5	(100)	140		5				30
КТ908Б	10		50			5	(60)	140		5				30
КТ927А	10	30	83				(70)			3,5	75	15	40	100
КТ927Б	10	30	83				(70)			3,5	75	15	40	100
КТ927В	10	30	83				(70)			3,5	75	15	40	100
КТ958А	10		85				36			4	40	4	50	300
КТ944А	12,5	20	55			5	100			5	100	10	60	100
КТ926А	15	25	50	450		7	150			5				50
КТ926Б	15	25	50	450		7	150			5				50
КТ931А	15		120				60			4	80	3,5	50	250
КТ945А	15	25	50			7	150		150	5				50
КТ956А	15		50			5	100			4	100	20	45	100
КТ967А	15		100				36			4	90	18	60	200
КТ912А	20		35			10	70			5	70	10	50	100
КТ912Б	20		35			10	70			5	70	10	50	100
КТ935А	20	30	60			10	80		70	6				50
КТ947А	20	50	200				100			5	250	10	55	100
КТ957А	20		100			7	60			4	125	17	50	100
														р-п-р
КТ933А	0,5		5				(80)	80		4,5				75
КТ933Б	0,5		5				(60)	60		4,5				75
КТ932А	2		20				(80)	80		4,5				80
КТ932Б	2		20				(60)	60		4,5				80
КТ932В	2		20				(40)	40		4,45				80
ГТ905А	3	7	6	60		0,6	75	75	65					75
ГТ905Б	3	7	6	60		0,6	60	60	65					75
ГТ906А	6		15	375		1,5	(75)	75	75					
ГТ906АМ	6		15	375		1,5	(75)	75	75					

$h_{21Э}$, ($h_{21э}$)	$\lvert h_{21э} \rvert$	$I_{КБО}$, мкА (мА)	$I_{ЭБО}$, мкА (мА)	$U_{КЭнас}$, В	$U_{БЭ нас}$, В	$\tau_к$, нс (пс)	$t_{вкл}$, ($t_{нр}$), мкс	$t_{рас}$, нс (мкс)	$C_к$, пФ	$C_э$, пФ	$R_{Тп-с}$ ($R_{Тп-к}$), °С/Вт	Масса, г	Корпус (рис 12.20)
63...160		10	100	0,5							(10)	0,8	ТР12
100...250		10	100	0,5							(10)	0,8	ТР12
40...200	3	100	(1)	0,6								0,8	ТР12
40...160	3	100	(1)	0,6								0,8	ТР12
40...120	3	100	(1)	0,6								0,8	ТР12
20...60	3	(1)	(5)	1,2								0,8	ТР12
30...100	3	(1)	(5)	1,2								0,8	ТР12
15...70	4	(1,0)	(50)	2,5	2	0,5			180			24	ТР15
40...180	4	(10)	(50)	2,5	2	0,5			180			24	ТР15
10...100	4	(7)	(2)	0,81		(20)			75		(10)	4,5	ТР39
10...100	3,5	(7)	(2)	0,9		(20)			75	410	(10)	4,5	ТР39
10...150	3	(40)	(6)	0,6		(25)			65	700	(3)	4,5	ТР39
10...150	2,5	(40)	(6)	0,6		(25)			65	700	(3)	4,5	ТР39
10...80	3	(10)	(20)			(22)			50	210	(6)	6,5	ТР41
10...80	3	(10)	(20)			(22)			50	450	(6)	6,5	ТР41
15	3,5	(10)	(100)	2	2	—					(4)	25	ТР15
8...60	3	(25)	(300)	1,5	2,3		0,3	(2,6)	700			22	ТР15
20	3	(50)	(300)	1	2,3		0,3	(2,6)	700			22	ТР15
15...50	3,5	(40)	(40)	0,7					190	2850	(1,5)	10	ТР42
25...75	3,5	(40)	(40)	0,7					190	2850	(1,5)	10	ТР42
40...100	3,5	(40)	(40)	0,7					190	2850	(1,5)	10	ТР42
10...250	3	(28)	(10)	0,15		(35)			180	2100	(1,4)	7	ТР43
10...80	3,5	(80)	(150)	2,5					350	1500	(1,7)	40	ТР44
10...60	1,7	(25)	(300)	2,5	2,5						(2)	20	ТР45
10...60	1,7	(25)	(300)	2,5	2,5						(2)	20	ТР45
5...100	2,5	(30)	(10)	0,16		(32)			240	3800	(0,8)	7	ТР43
10...60	1,7	(25)	(300)	2,5	3		(0,1)	(1,1)	200			20	ТР11
10...80	3,3	(80)	(30)						400	1600	(1,7)	15	ТР46
10...100	6	(20)	(150)						500	2500	(1,7)	16	ТР46
10...50	3	(75)	(250)								(1,4)	45	ТР47
20...100	3	(75)	(250)								(1,4)	45	ТР47
20...100	1,7	(30)	(300)						800	3500		20	ТР45
10...80	2,5	(100)	(150)						850		(0,8)	35	ТР44
10...80	3,3	(100)	(30)						600	2250	(1,4)	15	ТР46
15...80		500		1,5					70		125	24	ТР15
30...120		500		1,5					70		125	24	ТР16
15...80		(80)		1,5					300		42	20	ТР11
30...120		(60)		1,5					300		42	20	ТР11
40		(40)		1,5					300		42	20	ТР11
35...100.	3,5	(2)	(5)	0,5	0,7	0,5	0,2	4	200	8000	50	7	ТР48
35...100	3,5	(2)	(5)	0,5	0,7	0,5	0,2	4	200	8000	50	7	ТР48
30...150		(8)	(15)	0,5	0,7		1	5			50	4,5	ТР49
30...150		(8)	(15)	0,5	0,7		1	5			50	7	ТР48

Таблица 3 92 **Транзисторы маломощные сверхвысокочастотные**

Тип	$I_{K\,max}$ мА	$I_{K\,и\,max}$, мА	$P_{K\,max}$ ($P_{K\,и\,max}$) мВт	$I_{Э\,max}$ ($I_{Э\,и\,max}$) мА	$I_{Б\,max}$ ($I_{Б\,и\,max}$) мА	$U_{КЭR}$ ($U_{КЭ}$) В	$U_{КБ\,max}$ ($U_{КЭО\,гр}$) В	$U_{ЭБ\,max}$ В	$P_{вых}$ мВт	$K_{ур}$ дБ	$\eta_к$ %	$h_{21\,э}$	f_{h21} ($h_{21э}$) ГГц
													n-p-n
ГТ341А	10		35			(10)	(5)	0,3		5—6		15 300	1,5
ГТ341Б	10		35			(10)	(5)	0,3		5—6		15 300	2
ГТ341В	10		35			(10)	(5)	0,5		5—6		15 300	1,5
ГТ362А	10		0			5	5	0,2				10 200	2,4
ГТ362Б	10		40			5	5	0,2				10 250	2,4
КТ372А	10		50			15	15	3		10		10	2,4
КТ372Б	10		50			15	15	3		10		10	3
КТ372В	10		50			15	15	3		10		10	2,4
ГТ329А	20		50			5	(5)	0,5		6		15 300	1,2
ГТ329Б	20		50			5	(5)	0,5		6		15 300	1,7
ГТ329В	20		50			5	(5)	0,5		6		15 300	1
ГТ330Д, И	20		50			(10)	(6)	1,5				30 400	(5)
ГТ330Ж	20		50			(10)	(6)	1,5				30 400	(10)
КТ371А	20	40	100	20		10	(10)	3				30 240	3
КТ382А	20	40	100	20		10	(10)	3				40 450	1,8
КТ382Б	20	40	100	20		10	(10)	3				40 450	1,8
КТ399А	20	40	150	20		15	15	3		13		40 170	1,8
КТ3120А	20	40	100	20		15	15	3		10		40	1,8
КТ360А	30		150			10	(10)					20 60	0,3
КТ306Б	30		150			10	(7)					40 120	0,5
КТ306В	30		150			10	(10)					20 100	0,3
КТ306Г	30		150			10	(7)					40 200	0,5
КТ306Д	30		150			10	15					30 150	0,2
КТ325А	30	60	225	30		15	(15)	4				30 90	0,8
КТ325Б	30	60	225	30		15	(15)	4				70 210	0,8
КТ325В	30	60	225	30		15	(15)	4				160 240	1
КТ335А	30	60	225	30		15	15	4				80 300	(5)
КТ368А	30	60	225	30		15	(15)	4				50 300	0,9
КТ368Б	30	60	225	30		15	(15)	4				50 300	0,9
ГТ311Е	50		150			12	12	2				15 80	(2,5)
ГТ311Ж	50		150			12	12	2				50 200	3
ГТ311И	50		150			10	10	1,5				100 300	4,5
КТ316А	50		150	30		10	(5)					20 60	0,6
КТ316Б, В	50		150	30		10	(5)					40 120	0,8
КТ316Г	50		150	30		10	(5)					20 100	0,6
КТ316Д	50		150	30		10	(5)					60 300	0,8
КТ633А	200	500	1200		120		(15)	4,5				40 140	0,5
КТ633Б	200	500	1200		120		(15)	4,5				20 160	(5)
КТ610А	300		1500			26	(20)	4		6,3	45	50 300	(10)
КТ610Б	300		1500			26	(20)	4		6,3	45	20 300	(7)
КТ606А	400	800	3500		100	65		4	800	2,5	35		(3,5)
КТ606Б	400	800	2500		100	65		4	600	2,5	35		(3)
КТ635А	1000		500			(50)	(45)	5				25 150	0,4
													p-n-p
ГТ328А	10		50			15	15	0,25				20 200	0,4
ГТ328Б	10		50			15	15	0,25				40 200	0,3
ГТ328В	10		50			15	15	0,25				10 50	0,3
ГТ346А	10		50			15	20	0,3		10,5		10 150	0,7
ГТ346Б	10		50			15	20	0,3		10,5		10 150	0,55
ГТ346В	10		50			15	20	0,3		10,5		15 150	0,55
КТ349А	10	40	200			15	20	4				20 80	0,3
КТ349Б	10	40	200			15	20	4				40 160	0,3

$K_ш$ дБ	$h_{11э}$ Ом	$I_{КБО}$ ($I_{КЭR}$) мкА	$I_{ЭБО}$ мкА	$U_{КЭ\,нас}$ В	$U_{БЭ\,нас}$ В	$\tau_к$ пс (нс)	$t_{вкл}$ ($t_{нр}$) нс	$t_{рас}$ нс ($t_{выкл}$ мкс)	$С_к$ пФ	$С_э$ пФ	$h_э$ нГн	$h_б$ ($h_к$) нГн	$R_{Тп-с}$ ($R_{Тп-к}$) °С/Вт	Масса г	Корпус (рис 3 20)
4,5	20	5	50			10			1	2			600	1	ТР50
5,5	20	5	50			10			1	2			800	1	ТР50
5,5	20	5	50			10			1	2			800	1	ТР50
4,5		5	100			10			1	1				2	ТР50
5,5		5	100			20			1	1				2	ТР50
3,5		0,5	20			9			1	1,5			1000	0,2	ТР51
5,5		0,5	20			9			1	1,5			1000	0,2	ТР51
5,5		0,5	20			9			1	1,5			1000	0,2	ТР51
4	22	5	100			15			2	3,5			800	1	ТР50
6	22	5	100			20			2	3,5			800	1	ТР50
6	22	5	100			20			2	3,5			800	1	ТР50
8		5	100	0,3	0,7	30			3	5				2	ТР50
		5	100	0,3	0,7	100			3	5				2	ТР50
4	10	0,5	1			15			1,2	1,5	2,5	2,5	833	0,3	ТР52
3	10	0,5	1			15			2	2,5	4	4	833	0,3	ТР52
4,5	10	0,5	1			10			2	2,5	4	4	833	0,3	ТР52
2		0,5	1			8			1,7	3	4,5	4,5		1	ТР53
2		0,5	1			8			2	3,2			860	0,3	ТР52
30	30	0,5	1	0,3	1			30	5	4,5	11	11	467	0,65	ТР54
30	30	0,5	1	0,3	1			30	5	4,5	11	11	467	0,65	ТР54
30	30	0,5	1	0,3	1	500			5	4,5	11	11	467	0,65	ТР54
30	30	0,5	1	0,3	1	500			5	4,5	11	11	467	0,65	ТР54
30	30	0,5	1	0,3	1	300			5	4,5	11	11	467	0,65	ТР54
		0,5	0,5			125			2,5	2,5	7	7	286	1,2	ТР32
		0,5	0,5			125			2,5	2,5	7	7	286	1,2	ТР32
		0,5	0,5			125			2,5	2,5	7	7	286	1,2	ТР32
	10	0,5	0,5			60			2	2				1,2	ТР55
3,3	6	0,5	1			15			1,7	3	4,5	4,5	364	1	ТР53
2,8	6	0,5	1			15			1,7	3	4,5	4,5	364	1	ТР53
8		10	15	0,6	0,3	75		50	2,5	5				2	ТР56
8		10	15	0,6	0,3	100		50	2,5	5				2	ТР56
8		10	15	0,6	0,3	100		50	2,5	5				2	ТР56
		0,5	1	0,4	1,1	50		10	3	2,5	6	6	556	0,6	ТР53
		0,5	1	0,4	1,1	50		10	3	2,5	6	6	556	0,6	ТР53
		0,5	1	0,4	1,1	150			3	2,5	6	6	556	0,6	ТР53
		0,5	1	0,4	1,1	150			3	2,5	6	6	556	0,6	ТР53
8		1	1	0,5	1,5	(25)	12	13	4,5	25			347	3	ТР32
6		10	10	0,6	1,5	10	12	30	4,5	25			347	3	ТР32
4 8		500	100			55			4,1	21	1,3	(2,4)	(65)	2	ТР57
4 8		500	100			22			4,1	21	1,3	(2,4)	(65)	2	ТР57
		1500	300	1		(10)			10	27			(44)	6	ТР41
		1500	300	1		(12)			10	27			(44)	6	ТР41
		10	10	0,5		25			10	90			190	3	ТР32
7		10	100			5			1,5	2,5				2	ТР33
7		10	100			10			1,5	5				2	ТР33
7		10	100			10			1,5	5				2	ТР33
7		10	100			3			1,3					1	ТР53
8		10	100			5,5			1,3					1	ТР53
7		10	100			6			1,3					1	ТР53
		1		0,3	1,2				6	8			600	0,5	ТР53
		1		0,3	1,2				6	8			600	0,5	ТР53
		1		0,3	1,2				6	8			600	0,5	ТР53

Окончание табл 3 92

Тип	$I_{K\,max}$ мА	$I_{K\,и\,max}$ мА	$P_{K\,max}$ ($P_{K\,и\,max}$) мВт	$I_{Э\,max}$ ($I_{Э\,и\,max}$) мА	$I_{Б\,max}$ ($I_{Б\,и\,max}$) мА	$U_{КЭR}$ ($U_{КЭ}$) В	$U_{КБ\,max}$ ($U_{КЭО\,гр}$) В	$U_{ЭБ\,max}$ В	$P_{вых}$ мВт	$K_{Ур}$ дБ	$\eta_к$ %	$h_{21\,Э}$	f_{h21} ($h_{21э}$) ГГц
КТ349В	10	40	200			15	20	4				120 130	0,3
ГТ376А	10		35			7	(7)	0,25				10 150	1
ГТ313А	30		100			12	(7)	0,7				(20 200)	(10)
ГТ313Б	30		100			12	(7)	0,7				(20 200)	(10)
ГТ313В	30		100			12	(7)	0,7				(30 170)	(10)
КТ337А	30		150			6	6	4				30 70	0,5
КТ337Б	30		150			6	6	4				50 75	0,6
КТ337В	30		150			6	6	4				70 120	0,6
КТ363А	30	50	150			15	15	4				20 70	1,2
КТ363АМ	30	50	150			15	15	4				20 70	1,2
КТ363Б	30	50	150			12	15	4				40 120	1,5
КТ363БМ	30	50	150			12	15	4				40 120	1,5
КТ326А	50		200			15	20	4				20 70	(4)
КТ326Б	50		200			15	20	4				45 160	(4)
КТ347А	50	110	150			15	15	4				30 400	(5)
КТ347Б	50	110	150			9	9	4				30 400	(5)
КТ347В	50	110	150			6	6	4				50 400	(5)
КТ3109А	50		170			25	30	3		15		15	0,8
КТ3109Б	50		170			20	25	3		13		15	0,8
КТ3109В	50		170			20	25	3		13		15	0,6

Таблица 3.93 **Транзисторы мощные сверхвысокочастотные**

Тип	$I_{K\,max}$ А	$I_{K\,и\,max}$ А	$P_{K\,max}$ Вт	$I_{Б\,max}$ А	$U_{КЭR}$ ($U_{КЭ}$) В	$U_{КБ\,max}$ ($U_{КЭО\,гр}$) В	$U_{ЭБ\,max}$ В	$P_{вых}$ Вт	$K_{Ур}$ дБ	$\eta_к$ %	$h_{21Э}$	f_{h21} ГГц ($\|h_{21э}\|$) $K_ш$ дБ
												п р п
КТ919В	0,2	0,4	3,2	0,05		45	3,5	0,8	4	25		(4,5)
КТ918А	0,25		2,5			30	2,5	0,3	2			0,8
КТ918Б	0,25		2,5			30	2,5	0,5	2			1
КТ919Б	0,35	0 7	5	0,1		45	3,5	1,6	3,2	30		(4,5)
КТ918А	0,25		2,5			30	2,5	0,25	2			0,8
КТ918Б	0,25		2,5			30	2,5	0,5	2			1
КТ919Б	0,35	0,7	5	0,1		45	3,5	1,6	3,2	30		(4,5)
КТ911А	0,4		3		40	55	3	1	2,5	40	15 30	(2,5)
КТ911Б	0,4		3		40	55	3	1	2,5	40	15 30	(2,5)
КТ911В	0,4		3		30	40	3	0,8	2	40	15 30	(2,5)
КТ911Г	0,4		3		30	40	3	0,8	2	40	15 30	(2,5)
КТ939А	0,4		4		30	(18)	3 5				40 200	2,5
КТ913А	0,5	1	4	0,25	55	(40)	3,5	3	2	40		(9)
КТ925А	0,5	1	5		36	36	4	2	6,3	55	8 70	(5)
КТ934А	0,5		7		60		4	3	6	50	5 150	(5)
КТ919А	0,7	1,5	10	0 2		45	3,5	3,5	3,5	33		(4,5)
КТ919Г	0,7	1,5	10	0,2		45	3,5	3	3	30		(4,5)
КТ904А	0 8	1 5	5	0,2	60	(40)	4	3	2,5	30	10 60	(3,5)
КТ904Б	0,8	1,5	5	0,2	60	(40)	4	2,5	2	30	10 60	(3)
КТ907А	1	3	13	0,4	60	(40)	4	10	2	45	10 80	(3,5)
КТ907Б	1	3	13	0,4	60	(40)	4	8	1,5	45	10 80	(3)
КТ913Б	1	2	8	0 5	55	(40)	3,5	5	2	40		(9)

$K_ш$ дБ	$h_{11э}$ Ом	$I_{КБО}$ ($I_{КЭR}$) мкА	$I_{ЭБО}$ мкА	$U_{КЭ нас}$ В	$U_{БЭ нас}$ В	$\tau_к$ пс (нс)	$t_{вкл}$ ($t_{нр}$) нс	$t_{рас}$ нс ($t_{выкл}$ мкс)	$C_к$, пФ	$C_э$ пФ	$h_э$ нГн	$h_б$ ($h_к$) нГн	$R_{Тп-с}$ ($R_{Тп-к}$) °С/Вт	Масса г	Корпус (рис 3 20)
3,5		5	100			15			1,2	5				0,5	ТР53
8		5	50	0,7	0,6	75			2,5	18				2	ТР56
8		5	50	0,7	0 6	40			2,5					2	ТР56
8		5	50	0,7	0 6	75			2,5	14				2	ТР56
		1	5	0,2	1			25	6	8			600	0,5	ТР53
		1	5	0,2	1			28	6	8			600	0,5	ТР53
		1	5	0,2	1			28	6	8			600	0,5	ТР53
		0,5	0,5	0,35	1,1	50		10	2	2			700	0,5	ТР53
		0,5	0,5	0,35	1,1	50		10	2	2			700	0,3	ТР53
		0,5	0,5	0,35	1,1	75		5	2	2			700	0,5	ТР53
		0,5	0,5	0,35	1,1	75		5	2	2			700	0,3	ТР53
		0,5	0,1	0,3	1,2	450			5	4				0,5	ТР53
		0,5	0,1	0,3	1,2	450			5	4				0,5	ТР53
		1	10	0,3				25	6	8				0,5	ТР53
		1	10	0,3				25	6	8				0,5	ТР53
		1	10	0,3				40	6	8				0,5	ТР53
6		0,1	10			6			1				650	0,3	ТР58
7		0,1	10			10			1				650	0,3	ТР58
8		0,1	10			10			1				650	0,3	ТР58

$I_{КБО}$ ($I_{КЭR}$) мА	$I_{ЭБО}$ мА	$U_{КЭ нас}$ В	$U_{БЭ нас}$ В	$\tau_к$ пс (нс)	$C_к$ пФ	$C_э$ пФ	$L_э$ нГн	$L_б$ ($L_к$) нГн	$R_{Тп-с}$ ($R_{Тп-к}$) °С/Вт	Масса г	Корпус (рис 3 20)
2	0,5			2,2	4,5	15	0,7	(1 9)	(40)	2,2	ТР59
2	0,1			(15)	4,2	15			(50)	0,15	ТР60
2	0,1			(4)	4,2	15			(50)	0,15	ТР60
5	1			2,2	6,5	30	0,7	(1,9)	(25)	2,2	ТР59
2	0,1			(15)	4,2	15			(50)	0,15	ТР60
2	0,1			(4)	4,2	15			(50)	0,15	ТР60
5	1			2,2	6,5	30	0,7	(1,9)	(25)	2,2	ТР59
5	2			25	10	25			(33)	6	ТР61
5	2			50	10	25			(33)	6	ТР61
5	2			50	10	25			(33)	6	ТР61
5	2			100	10	25			(33)	6	ТР61
1	0,5			9	5,5	23				2	ТР62
(25)	1,5	0,45	1,2	18	7	75	0,55	3	(20)	1,6	ТР59
(7)	4			20	15		1,2	2,6	(20)	4,5	ТР39
(7,5)	7,5	0,35		10	9	60	1,3	3,1	(18)	4,5	ТР39
10	2			2,2	10	50	0,7	(1,9)	(12)	2,2	ТР59
10	2			2,2	12	60	0,7	(1,9)	(12)	2,2	ТР59
(1,5)	0,3	0,6	0,95	15	12	170	40	40	(16)	6	ТР41
(1,5)	0,3	0,6	0,95	20	12	170	40	40	(16)	6	ТР41
(3)	0,35	0,65	0,95	15	20	250		4	(7,5)	6	ТР41
(3)	0,35	0,65	0,95	25	20	250		4	(7,5)	6	ТР41
(50)	1,5	0,45	1,2	15	12	150	0,25	2,5	(10)	1,6	ТР59

Окончание табл. 3.93.

Тип	$I_{К\,max}$, А	$I_{К,\,и\,max}$, А	$P_{К\,max}$, Вт	$I_{Б\,max}$, А	$U_{КЭR}$ ($U_{КЭ}$), В	$U_{КБ\,max}$, ($U_{КЭО\,гр}$), В	$U_{ЭБ\,max}$, В	$P_{вых}$, Вт	$K_{ур}$, дБ	$\eta_к$, %	$h_{21Э}$	f_{h21}, ГГц (|$h_{21э}$|) $K_ш$, дБ
КТ913В	1	2	12	0,5	55	(40)	3,5	5	2	50		(9)
КТ925Б	1	3	11		36	36	4	5	5	60	10...55	(5)
КТ934Б	1		15		60		4	12	4	50	5...150	(5)
КТ934Г	1		15		60		4	10	3,3	50	5...150	(4,5)
КТ948Б	1,2	2,5	20	0,5		45	2	8	3	35		(6,5)
КТ942В	1,5	3	25	0,5		45	3,5	9	2,5	30		(6,5)
КТ962А	1,5		17			50	4	10	4	36		(2,5)
КТ909А	2	4	27	1	60		3,5	20	1,7	45		(4)
КТ909В	2	4	27	1	60		3,5	12	1,2	40		(3)
КТ916А	2	4	30		55		3,5	20	2,5		35	(11)
КТ934В	2		30		60		4	25	3	50	5...150	
ТК934Д	2		30		60		4	20	2,4	50	5 ..150	
КТ946А	2,5	5	35	1		50	3,5	30	7	55		(2,4)
КТ948А	2,5	5	40	1		45	2	15	3	35		(6,5)
КТ962Б	2,5		25			50	4	20	3,5	40		(2,5)
КТ925В	3,3	8,5	25		36	36	3,5	20	3	55	17...150	(4,5)
КТ925Г	3,3	8,5	25		36	36	3,5	15	2,5	55	50	(4,5)
КТ909Б	4	8	50	2	60		3,5	35	1,7	40		(5)
КТ909Г	4	8	50	2	60		3,5	30	1,5	40		(4,5)
КТ962В	4		60			50	4	40	3	40		(2)
КТ930А	6		75		50		4	40	5	50	15 ..100	(1,5)
КТ960А	7		70		36		4	40	2,5	60		(2)
КТ930Б	10		120		50		4	75	3,5	50	10 ..100	(2)
КТ970А	13		170		50		4	100	4	50		(2)
КТ914А	0,8	1,5	7	0,2	65		4	7,2	7,2	30	10...60	(0,25)

Таблица 3.94 **Транзисторы полевые**

Тип	P_{max}, мВт (Вт)	$U_{СИ\,max}$, В	$U_{ЗС\,max}$, В	$U_{ЗИ\,max}$, В	$I_{С\,max}$, мА	T_{max}, ($T_{к\,max}$), °С	$U_{ЗИ\,отс}$, В	$I_{З\,ут}$, нА	$U_{ЗИ}$, В
КП103Е	7	10	15	10		85	0,4. 1,5	20	10
КП103Ж	12	10	15	10		85	0,5...2,2	20	10
КП103И	21	12	15	10		85	0,8...3	20	10
КП103К	38	10	15	10		85	1,4...4	20	10
КП101Г	50	10	10	10	2	85	5	10	5
КП101Д, Е	50	10	10	10	5	85	10	50	5
КП103Л	66	12	15	10		85	2...6	20	10
КП313А—В	75	15	15	10	15	85	6	10	10
КП310А	80	8	10	10	20	125		3	
КП310Б	80	8	10	10	20	125		3	
КП312А	100	20	25	25	25	100	8	10	—10
КП312Б	100	20	25	25	25	100	6	10	—10
КП103М	120	10	15	10		85	2,8...7	20	10

$I_{КБО}$, ($I_{КЭR}$), мА	$I_{ЭБО}$, мА	$U_{КЭ\ нас}$, В	$U_{БЭ\ нас}$, В	$\tau_к$, пс (нс)	$C_к$, пФ	$C_э$, пФ	$L_э$, нГн	$L_б$ ($L_к$), нГн	($R_{Тп-к}$), °С/Вт	Масса, г	Корпус (рис 3 20)
(50)	1,5	0,45	1,2	15	14	150	0,25	2,5	(10)	1,6	ТР59
(12)	8			35	30		1	2,4	(10)	4,5	ТР39
(15)	7,5	0,3		20	16	160	1,2	3,1	(8,8)	4,5	ТР39
(15)	7,5	0,4		25	16	160	1,2	3,1	(8,8)	4,5	ТР39
15	10				17				(9)	2	ТР63
20	10			3	17	110	0,8	(1,5)	(7)	2	ТР64
20	5			16	20		1,43	(1,5)	(7)	5	ТР39
(30)	6	0,3	0,9	20	30	350		2,5	(5)	4	ТР65
(30)	6	0,3	0,9	30	35	350		2,5	(5)	4	ТР65
(25)	4	0,4	1	10	20	190	0,35	1	(4,5)	2	ТР59
(30)	8	0,3		20	32	300	1	2,8	(4,4)	4,5	ТР39
(30)	8	0,3		25	32	300	1	2,8	(4,4)	4,5	ТР39
50	10				50	310	0,3	(0,35)	(4)	2	ТР63
35	35				30				(4,5)	2	ТР63
20	5			16	35		1,24	(1,6)	(4,5)	5	ТР39
(30)	10			40	60		1	2,4	(4,4)	4,5	ТР39
(30)	10			40	60		1	2,4	(4,4)	4,5	ТР39
(60)	10	0,3	0,9	20	60	700		2,5	(2,5)	4	ТР65
(60)	10	0,3	0,9	30	60	700		2,5	(2,5)	4	ТР63
30	10			16	50		1	(1,5)	(1,8)	5	ТР39
(20)	10			12	80	930	0,35	1,6	(1,8)	7	ТР43
(20)	10	0,15		25	120	1200	0,4	(1,6)	(1,8)	7	ТР43
(100)	20			15	170	2100	0,24	1,6	(1,2)	7	ТР43
(200)	60			25	180		0,2	(0,9)	(0,7)	9	ТР66
(2)	0,1	0,6	0,95	20	12	170	4	4	(16)	6	ТР41

S, мА/В	$U_{СИ}$, В	$I_С$, мА	$I_{С\ нач}$, мА	$C_{11и}$, пФ	$C_{22и}$, пФ	$C_{12и}$, пФ	$К_ш$, дБ, ($E_ш$, нВ/$\sqrt{Гц}$)	$К_{УР}$, дБ	$f_{раб\ max}$, МГц ($P_{вых}$, мВт)	Масса, г	Корпус (рис 3 20)
0,4...2,4	10		0,3...2,5	20		8	3		3	1	ТР64 ТР65
0,5...3,8	10		0,35...3,8	20		8	3		3	1	ТР64 ТР65
0,8...2,6	10		0,8...1,8	20		8	3		3	1	ТР64 ТР65
1...3	10		1...5,5	20		8	3		3	1	ТР64 ТР65
0,15	5		0,3	12	0,4	3	5			1	ТР64
0,3	5		0,3	12	0,4	3	5			1	ТР64
1,8...3,8	10		1,8...6,6	20		8	3		3	1	ТР64 ТР65
4,5...10,5	10	5		7		0,9	7,5	10	300	1	ТР66
3...6	5	5	5	2,5	2	0,5	6	5...7		0,7	ТР67
3...6	5	5	5	2,5	2	0,5	5...7	5...7		0,7	ТР67
4	15		8	4		1	4	2		0,2	ТР68
2	15		1,5	4		1	6	2		0,2	ТР68
1,3...4,4	10		3...12	20		8	3		3	1	ТР64 ТР65

Окончание табл. 3.94.

Тип	P_{max}, мВт (Вт)	$U_{СИ\,max}$, В	$U_{ЗС\,max}$, В	$U_{ЗИ\,max}$, В	$I_{С\,max}$, мА	T_{max}, ($T_{к\,max}$), °С	$U_{ЗИ\,отс}$, В	$I_{З\,ут}$, нА	$U_{ЗИ}$, В
КП305Д, Д	150	15	±15	±15	15	125	6	1	—30
КП305Е	150	15	±15	±15	15	125	6	5	—30
КП305И	150	15	±15	±15	15	125	6	1	—30
КП306А, Б	150	20	20	20	20	125	4	5	20
КП306В	150	20	20	20	20	125	6	5	20
КП301Б	200	20		30	15	70		0,3	30
КП301В	200	20		30	15	70		0,3	30
КП301Г	200	20		30	15	70		0,5	30
КП303А, Б	200	25	30	30		85	0,5 .3	1	10
КП303В	200	25	30	30		85	1.. 4	1	10
КП303Г	200	25	30	30		85	8	0,1	10
КП303Д	200	25	30	30		85	8	1	10
КП303Е	200	25	30	30		85	8	1	10
КП303Ж	200	25	30	30		85	0,3...3	5	10
КП303И	200	25	30	30		85	0,5...2	5	10
КП314А	200	25	30	30	20	85			
КП350А, Б	200	15	15		30	85	6	5	15
КП350В	200	15	15		30	85	6	5	15
КП307А	250	25	30	30	25	125	0,5...3	1	—10
КП307Б, В	250	25	30	30	25	125	1...5	1	—10
КП307Г, Д	250	25	30	30	25	125	1,5...6	1	—10
КП307Е	250	27	27	27	5	125	2,5	1	—10
КП307Ж	250	27	27	27	5	125	7	0,1	—10
КП302А	300	20	20	10	24	100	5	10	10
КП302Б	300	20	20	10	43	100	.7	10	10
КП302В	300	20	20	12		100	10	10	10
КП302Г	300	20	20	10		100	7	10	10
КП302АМ	300	20	20	10	24	100	5	10	10
КП302БМ	300	20	20	10	43	100	7	10	10
КП302ВМ	300	20	20	12		100	10	10	10
КП302ГМ	300	20	20	10		100	7	10	10
КП902А, Б	(3,5)	50		30	200	(85)		3	30
КП902В	(3,5)	50		30	200	(85)		3	30
КП905А	(4)	60	70	±30	350	(85)			
КП905Б	(4)	60	70	±30	350	(85)			
КП905В	(4)	60	70	±30	350	(85)			
КП903А	(6)	20	20	15	700	(100)	5...12	100	—15
КП903Б	(6)	20	20	15	700	(100)	1...6,5	100	—15
КП903В	(6)	20	20	15	700	(100)	1...10	100	—15
КП907А	(11,5)	60	70	±30	2200	100			
КП907Б	(11,5)	60	70	±30	1500	100			
КП901А	(20)	70	85	30	4000	(100)			
КП901Б	(20)	70	85	30	4000	(100)			
КП904А	(75)	70	90	30		(100)			
КП904Б	(75)	70	90	30		(100)			

S, мА/В	$U_{СИ}$, В	$I_С$, мА	$I_{С\ нач}$, мА	$C_{11и}$, пФ	$C_{22и}$, пФ	$C_{12и}$, пФ	$К_ш$, дБ, ($Е_ш$, нВ/$\sqrt{Гц}$)	$К_{УР}$, дБ	$f_{раб\ max}$, МГц ($Р_{вых}$, мВт)	Масса, г	Корпус (рис 3 20)
5,2...10,5	10	5		5		0,8	7,5	13		1	ТР69
4...8	10	5		5		0,8	7,5	13		1	ТР69
4...10,5	10	5		5		0,8	7,5	13		1	ТР69
4...8	15	5		5		0,07	7	15		0,5	ТР70
4...8	15	5		5		0,07	7	15		0,5	ТР70
0,6	15	5	0,5	3,5	3,5	1	9,5		100	0,7	ТР71
1,2	15	5	0,5	3,5	3,5	1	9,5		100	0,7	ТР71
0,3	15	5	0,5	3,5	3,5	1	9,5		100	0,7	ТР71
1...4	10		0,5...2,5	6		2	4			0,5	ТР67
2...5	10		1,5...5	6		2	4			0,5	ТР67
3...7	10		3...12	6		2	4			0,5	ТР67
2,6	10		3...9	6		2	4			0,5	ТР67
4	10		5...20	6		2	4			0,5	ТР67
1...4	10		0,3...3	6		2	4			0,5	ТР67
2...6	10		1,5...5	6		2	4			0,5	ТР67
4	10		2,5...20	6		2				0,5	ТР64
6...13	10	10	3,5	6	6	0,07	6			0,7	ТР70
6...13	10	10	3,5	6	6	0,07	8			0,7	ТР70
4...9	10		3...9	5		1,5	6			0,5	ТР67
5...10	10		5...15	5		1,5	6			0,5	ТР67
6...12	10		8...24	5		1,5	6			0,5	ТР67
3...8	10		1,5...5	5		1,5	6			0,5	ТР67
4	10		3...25	5		1,5	6			0,5	ТР67
5	7		3...24	20		8	3			1,5	ТР72
7	7		18...43	20		8	3			1,5	ТР72
5	7		33	20		8	3			1,5	ТР72
7	7		15...65	20		8	3			1,5	ТР72
5	7		3...24	20		8	3			1,5	ТР73
7	7		18...43	20		8	3			1,5	ТР73
5	7		33	20		8	3			1,5	ТР73
7	7		15...65	20		8	3			1,5	ТР73
10	50	50	10	11	11	0,6	6	8...12	(1,2)	6	ТР74
10	50	50	10	11	11	0,8	8	8...12	(1,2)	6	ТР74
18...39	20	50	20	7	4	0,6	6	8...15	(1,4)	3	ТР75
18...39	20	50	20	7	4	0,6	6,5	6...10	(1,4)	3	ТР75
18...39	20	50	20	13	6	0,8	6,5	4...8	(1,4)	3	ТР75
85...140	10		120...700	(15)	(18)		(5)	7,6...16	(450)	6	ТР74
50...130	10		60...480	(15)	(18)		(5)	7,6...16	(450)	6	ТР74
60...140	10		90...600	(15)	(18)		(5)	7,6...16	(450)	6	ТР74
110...200	20	500	20...100			3			(4...6)	3	ТР75
110...200	20	500	20...100			3			(3...4)	3	ТР75
50...160	20	500	15...200		(100)	10		7...12,5	(10)	6	ТР74
60...170	20	500	15...200		(100)	10		10...16	(9,9)	6	ТР74
250...610	20	1000	6...350		(300)			11...14	(50...75)	45	ТР76
250...510	20	1000	6...350		(300)			11...14	(30...40)	45	ТР76

Таблица 3.95. **Транзисторные сборки**

Тип	$I_{к\,max}$, мА	$I_{К,\,и\,max}$, мА	$P_{К\,max}$, ($P_{к\,и\,max}$), Вт	$U_{КЭR}$ ($U_{КЭ}$), В	$U_{КБ\,max}$, ($U_{КЭО\,гр}$), В	$U_{ЭБ\,max}$, В	$h_{21Э}$	f_{h21}, МГц ($h_{21э}$)	$I_{КБО}$ ($I_{КЭR}$), мкА	$I_{ЭБО}$, мкА
										n-p-n
К1НТ661	5	10	0,1	250	300		5		(30)	
КТС631Б	300	50	1 (3)	(30)	30	4	20	350	50	100
КТС631В	300	50	1 (3)	(60)	60	4	20	200	200	100
КТНТ251	400	800	0,16 (10)	45	45	4	10	(2)	6	10
КТС613А	400	800	0,8 (3,2)	50	(40)	4	25...100	(2)	8	10
КТС613Б	400	800	0,8 (3,2)	50	(40)	4	40...200	(2)	8	10
КТС613В	400	800	0,8 (3,2)	30	(40)	4	20...120	(2)	8	10
КТС613Г	400	800	0,8 (3,2)	30	(40)	4	50...300	(2)	8	10
КТС631А	1000	1300	1 (3)	(30)	30	4	20	350	200	100
КТС631Г	1000	1300	1 (3)	(60)	60	4	20	200	50	100
										n-p-n
КТС3103А, Б	20	50	0,3	15	15	5	40...200	(9)	0,2	0,5
КТС622А	400	600	0,4 (10)	45	45	4	25...150	(2)	10	20
КТС622Б	400	600	0,4 (10)	45	45	4	10	(1,5)	10	20
ГТС609А		700	0,5 (5)	(50)	(30)	2,5	30...100	60	40	200
ГТС609Б		700	0,5 (5)	(50)	(30)	2,5	50...160	60	40	200
ГТС609В		700	0,5 (5)	(50)	(30)	2,5	80...420	60	40	200

Предельно допустимые параметры режима эксплуатации

$I_{К\,max}$ ($I_{К,\,и\,max}$) — максимально допустимый постоянный (импульсный) ток коллектора;

$P_{К\,max}$ ($P_{К,\,и\,max}$) — максимально допустимая постоянная (импульсная) рассеиваемая мощность коллектора;

P_{max} — максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность полевого транзистора;

$U_{КЭ}$ — постоянное напряжение коллектор-эмиттер;

$U_{КЭR}$ — постоянное напряжение коллектор-эмиттер при определенном сопротивлении в цепи база-эмиттер;

$U_{КЭО\,гр}$ — граничное напряжение биполярного транзистора;

$U_{КБ\,max}$ — максимально допустимое постоянное напряжение коллектор-база;

$U_{ЭБ\,max}$ — максимально допустимое постоянное напряжение эмиттер-база;

$U_{СИ\,max}$ — максимально допустимое напряжение сток-исток;

$U_{ЗИ\,max}$ — максимально допустимое напряжение затвор-исток;

$U_{ЗС\,max}$ — максимально допустимое напряжение затвор-сток;

$I_{С\,max}$ — максимально допустимый постоянный ток стока.

Статические параметры транзисторов

$I_{КБО}$ — постоянный обратный ток коллектора;

$I_{КЭR}$ — постоянный обратный ток коллектор-эмиттер при определенном сопротивлении в цепи база-эмиттер;

$I_{ЭБО}$ — постоянный обратный ток эмиттера;

$I_{З,\,ут}$ — постоянный ток утечки затвора;

$I_{С\,нач}$ — постоянный начальный ток стока;

$U_{КЭ\,нас}$ — напряжение насыщения коллектор-эмиттер;

$U_{БЭ\,нас}$ — напряжение насыщения база-эмиттер;

$U_{ЗИ\,отс}$ — напряжение отсечки полевого транзистора;

$h_{21Э}$ — статический коэффициент передачи тока биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером: отношение постоянного тока коллектора к постоянному току базы.

Параметры в режиме малого сигнала

$h_{21э}$ — коэффициент передачи тока биполярного транзистора в режиме малого сигнала в схеме с общим эмиттером;

$h_{11э}$ — входное сопротивление биполярного транзистора в режиме малого сигнала в схеме с общим эмиттером;

$h_{22э}$ — выходная полная проводимость биполярного транзистора в режиме малого сигнала при холостом ходе в схеме с общим эмиттером;

S — крутизна характеристики полевого транзистора: отношение тока стока к изменению напряжения на затворе при коротком замыкании по переменному току на выходе транзистора в схеме с общим истоком;

$C_к$ — емкость коллекторного перехода. При увеличении обратного напряжения емкость уменьшается;

$C_э$ — емкость эмиттерного перехода. При увеличении обратного смещения на эмиттере емкость уменьшается;

$U_{КЭ\,нас}$, В	$U_{БЭ\,нас}$, В	$\tau_к$, нс	$t_{вкл}$, нс	$t_{рас}$, нс	$C_к$, пФ	$C_э$, пФ	Число транзисторов в сборке	$R_{Тп-с}$, °C/Вт	Масса, г	Корпус (рис 3 20)
5							4	500	0,4	ТР77
1,2	2	40		30	15	100	4		4	ТР78
1,2	2	40		60	15	100	4		4	ТР78
2	1,5			200	15	50	4	218	0,4	ТР79
1,2	2	100			15	50	4	125	4	ТР80
1,2	2	100			15	50	4	125	4	ТР80
1,2	2	100			15	50	4	125	4	ТР80
1,2	2	100			15	50	4	125	4	ТР80
1,2	2	40		30	15	100	4		4	ТР78
1,2	2	40		60	15	100	4		4	ТР78
0,6	0,9	0,08			2,5	2,5	2	400	1,5	ТР81
1,3	2,2	60	35	120	15	60	4	218	0,4	ТР82
2	2,5	60	35	200	15	60	4	218	0,4	ТР82
1,6	1,1		100	700	50	250	4	84	4	ТР83
1,6	1,1		100	700	50	250	4	84	4	ТР83
1,6	1,1		100	700	50	250	4	84	4	ТР83

$C_{11и}$ — входная емкость полевого транзистора: емкость между затвором и соединенными вместе истоком и стоком,

$C_{12и}$ — проходная емкость полевого транзистора: емкость между стоком и затвором;

$C_{22и}$ — выходная емкость полевого транзистора.

Частотные параметры

f_{21} — предельная частота коэффициента передачи тока биполярного транзистора: частота, на которой модуль коэффициента передачи тока $|h_{21э}|$ уменьшается на 3 дБ, т. е. по сравнению с его низкочастотным значением, т. е. до 07;

$f_{гр}$ — граничная частота коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером: частота, на которой $|h_{21э}|$ транзистора, включенного в схеме с общим эмиттером, равен единице;

$К_ш$ — коэффициент шума биполярного (полевого) транзистора;

$К_{УР}$ — коэффициент усиления по мощности биполярного (полевого) транзистора;

$Е_ш$ — электродвижущая сила шума полевого транзистора;

$Р_{вых}$ — выходная мощность биполярного (полевого) транзистора.

Параметры транзисторов в табл. 3.88—3.96 приведены при нормальной температуре окружающей среды (25 °С).

3.13. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

Оптоэлектронный полупроводниковый прибор — полупроводниковый прибор, действие которого основано на использовании явлений излучения, передачи или поглощения в видимой, инфракрасной и (или) ультрафиолетовой областях спектра. Габаритные и присоединительные размеры оптоэлектронных приборов, приведенные в справочнике, показаны на рис. 3.21 Буквенные обозначения параметров даны в соответствии с ГОСТ 23562—79 «Оптопары. Термины, определения и буквенные обозначения параметров».

Светоизлучающий диод — полупроводниковый прибор с одним переходом, в котором осуществляется непосредственное преобразование электрической энергии в энергию светового излучения вследствие рекомбинации электронов и дырок, предназначенный для использования в устройствах визуального представления информации. Основные параметры светоизлучающих диодов при нормальной температуре окружающей среды приведены в табл. 3.96, где I_v — сила света; В — яркость; $\lambda_м$ — длина волны, соответствующая максимуму спектральной характеристики излучения.

Излучающий диод ИК-диапазона — полупроводниковый диод, в котором осуществляется непосредственное преобразование электрической энергии в энергию инфракрасного излучения вследствие рекомбинации электронов и дырок. Основные параметры диодов при нормальной температуре окружающей среды приведены в табл. 3.97, где Р — мощность излучения; $Р_и$ — импульсная мощность излучения; $\lambda_м$ — длина волны, соответствующая максимуму спектральной характеристики излучения; $\Delta\lambda$ — ширина спектральной характеристики излучения на уровне 0,5 максимального значения

Полупроводниковый знаковый индикатор — полупроводниковый прибор, состоящий из нескольких светоизлучающих диодов, предназначенный для использования в устройствах визуального представления информации в качестве ин-

Таблица 3.96. **Светоизлучающие диоды**

Тип	I_v (В) мкд (кд/м^2)	$I_{пр}$, мА	$\lambda_м$, мкм	$U_{пр}$, В	$I_{пр}$, мА	$U_{обр}$, В	$I_{пр\,max}$, мА	Масса, г	Корпус (рис 3.21)
			Красного цвета свечения						
АЛ301А	0,025	5	—	2,8	5	—	11	0,009	И1
АЛ102А	0,045	5	—	2,8	5	2	10	0,25	И2
АЛ102Б	0,1	20	—	2,8	20	2	20	0,25	И2
АЛ301Б	0,1	10	—	2,8	10	—	11	0,009	И1
АЛ307А	0,15	10	0,666	2	10	2	20	0,35	И3
АЛ307АМ	0,15	10	0,666	2	10	2	20	0,35	И4
АЛ102Г	0,2	10	—	2,8	10	2	10	0,25	И2
АЛ310Б	0,6	10	0,67	2	10	—	12	0,3	И5
АЛС331А	0,6	20	0,56; 0,7	4	20	2	20	0,5	И5
АЛ316А	0,8	10	0,67	2	10	—	20	0,4	И6
АЛ307Б	0,9	10	0,666	2	10	2	20	0,35	И3
АЛ307БМ	0,9	10	0,666	2	10	2	20	0,35	И4
АЛ310А	1,2	10	0,67	2	10	—	12	0,3	И5
АЛ316Б	1,25	10	0,67	2	10	—	20	0,4	И6
АЛ336А	6	10	—	2	10	2	20	0,35	И7
АЛ336Б	20	10	—	2	10	2	20	0,35	И7
АЛ336К	40	10	—	2	10	2	20	0,35	И7
АЛ112Д	(150)	10	0,68	2	10	—	12	0,5	И7
АЛ112В	(250)	10	0,68	2	10	2	12	0,5	И8
АЛ112И	(250)	10	0,68	2	10	2	12	0,5	И2
АЛ112М	(250)	10	0,68	2	10	2	12	0,5	И9
АЛ112Г	(350)	10	0,68	2	10	2	12	0,5	И2
АЛ112Б	(600)	10	0,68	2	10	2	12	0,5	И8
АЛ112Ж	(600)	10	0,68	2	10	2	12	0,5	И2
АЛ112Л	(600)	10	0,68	2	10	2	12	0,5	И9
АЛ112А	(1000)	10	0,68	2	10	2	12	0,5	И8
АЛ112Е	(1000)	10	0,68	2	10	2	12	0,5	И2
АЛ112К	(1000)	10	0,68	2	10	2	12	0,5	И9
			Зеленого цвета свечения						
АЛ360А	0,3	10	—	1,7	10	—	20	0,4	И10
АЛ307В	0,4	20	0,566	2,5	20	2	22	0,35	И3
АЛ360Б	0,6	10	—	1,7	10	—	20	0,4	И10
АЛ307Г	1,5	20	0,566	2,5	20	2	22	0,35	И3
АЛ336В	4	10	—	2,8	10	2	20	0,35	И7
АЛ336Г	15	10	—	2,8	10	2	20	0,35	И7
АЛ336И	20	10	—	2,8	10	2	20	0,35	И7
			Оранжевого цвета свечения						
АЛ307И	0,4	10	0,56; 0,7	2,5	10	2	22	0,35	И3
АЛ307Л	1,5	10	0,56; 0,7	2,5	10	2	22	0,35	И3
			Желтого цвета свечения						
АЛ307Д	0,4	10	0,56; 0,7	2,5	10	2	22	0,35	И3
АЛ307Е	1,5	10	0,56; 0,7	2,5	10	2	22	0,35	И3
АЛ336Д	4	10	—	2,8	10	2	20	0,35	И7
АЛ336Е	10	10	—	2,8	10	2	20	0,35	И7
КЛ101А	(10)	—	—	5,5	—	—	10	0,03	И11
АЛ336Ж	15	10	—	2,8	10	2	20	0,35	И7
КЛ101Б	(15)	—	—	5,5	—	—	20	0,03	И11
КЛ101В	(20)	—	—	5,5	—	—	40	0,03	И11

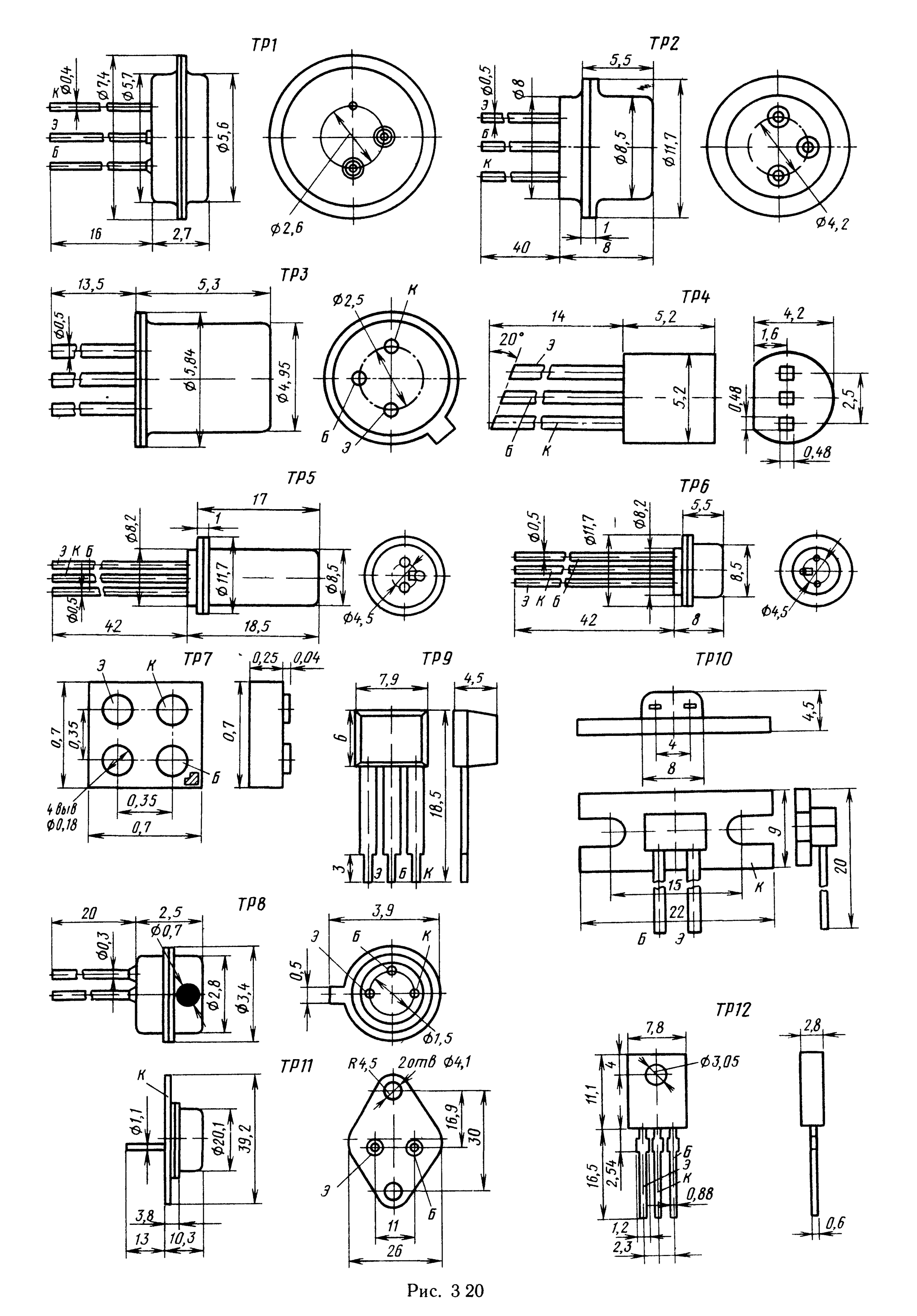


Рис. 3 20

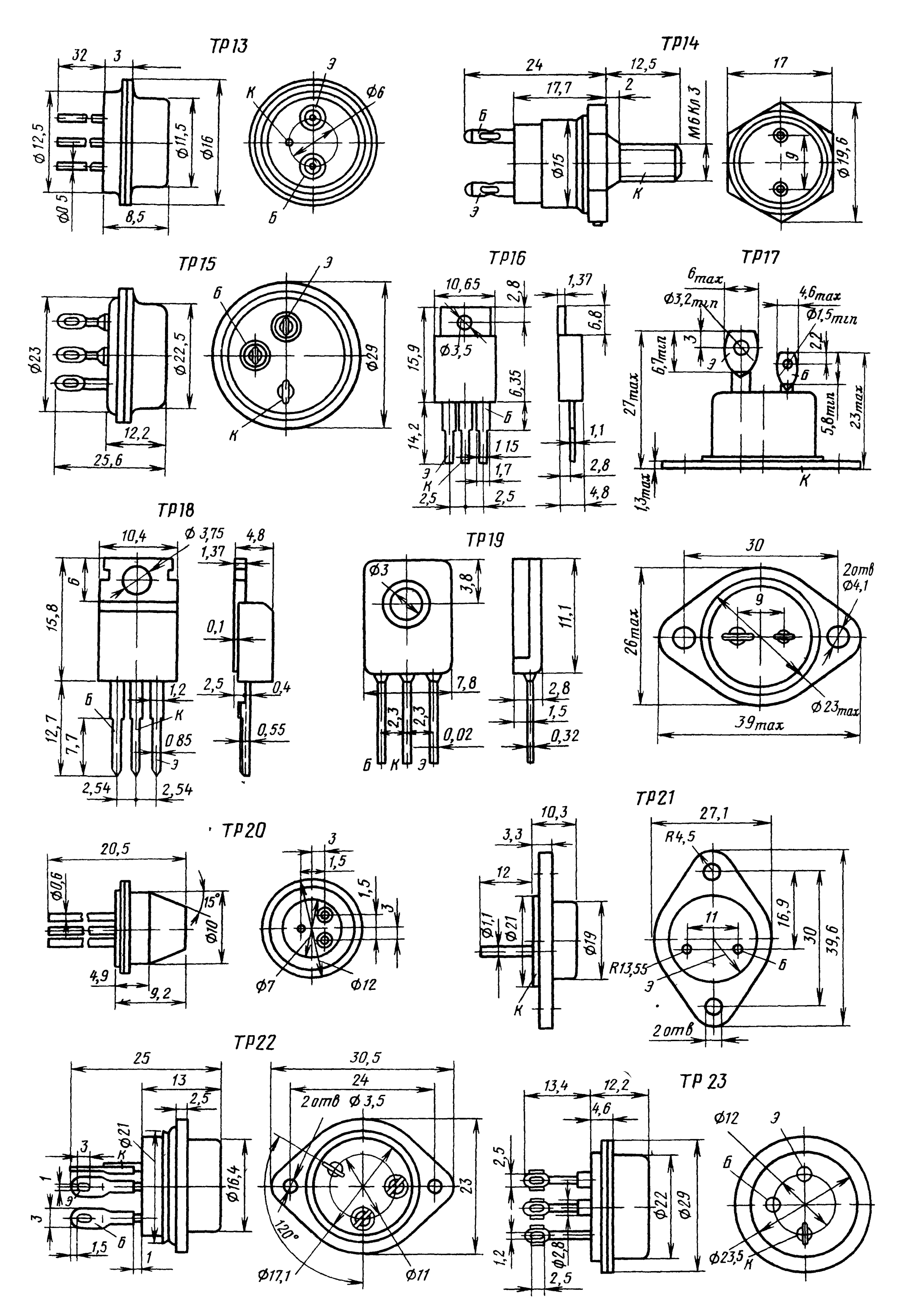


Рис 3 20 (Продолжение)

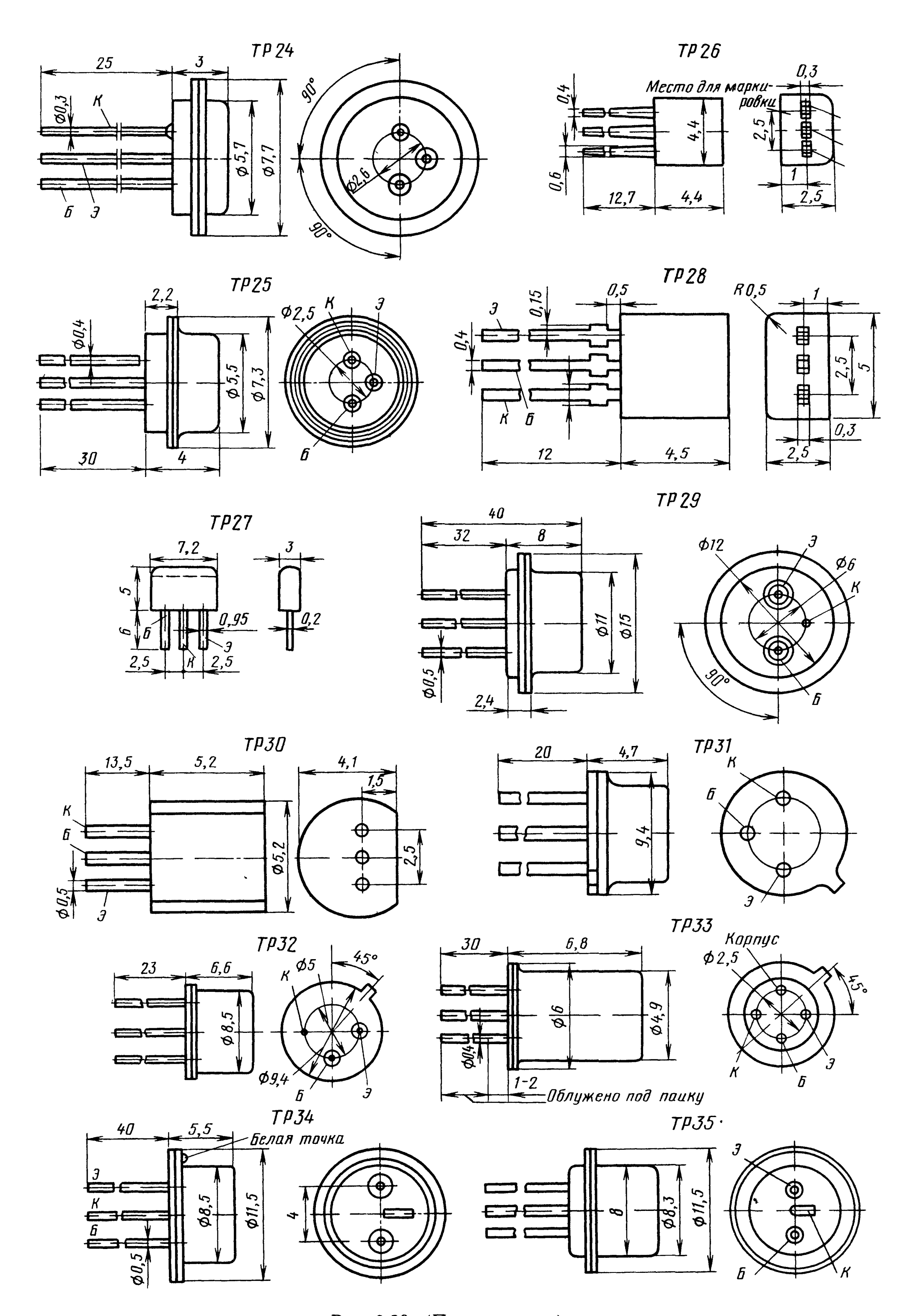


Рис. 3.20. (Продолжение.)

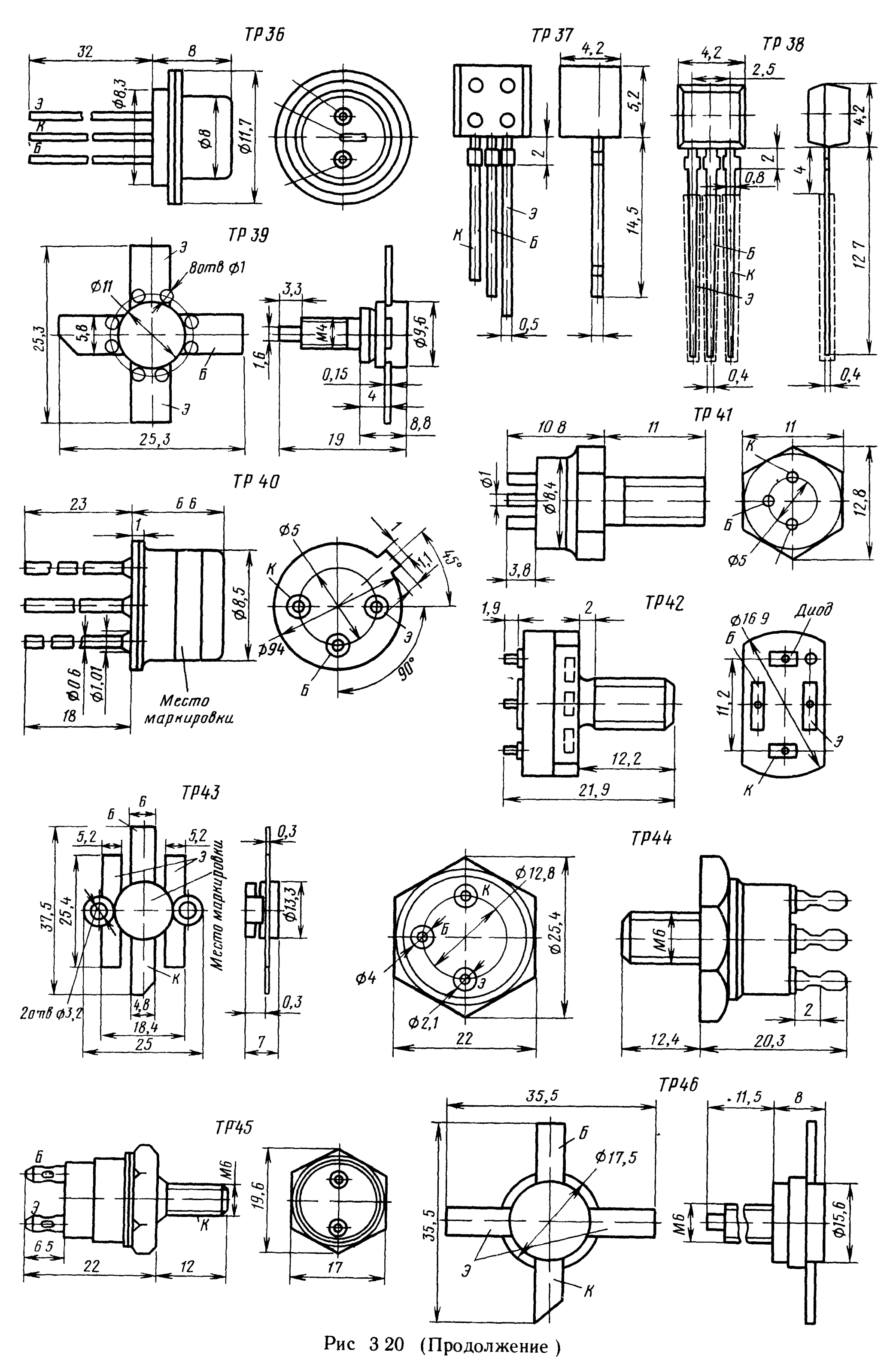


Рис 3 20 (Продолжение)

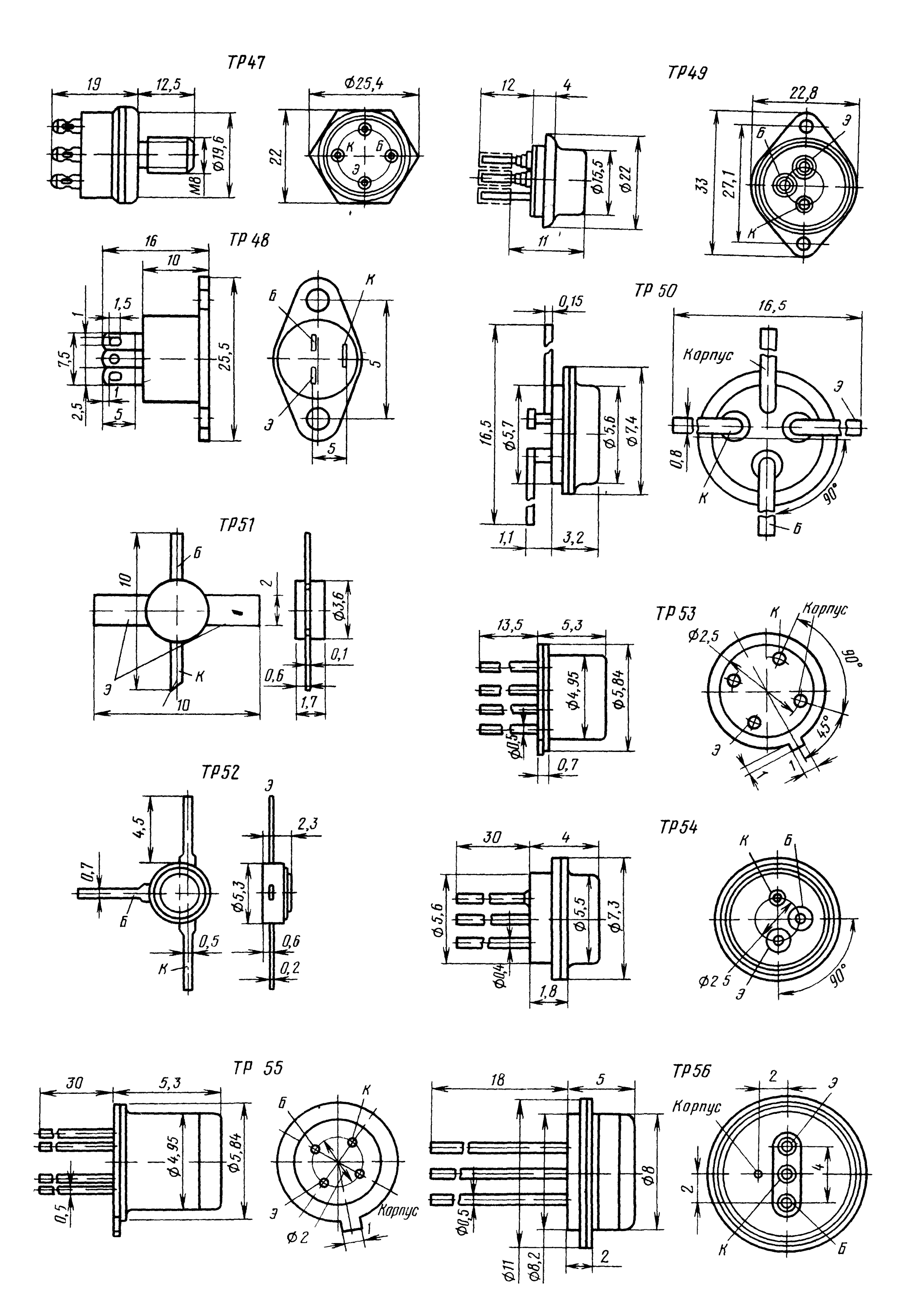


Рис 3 20 (Продолжение)

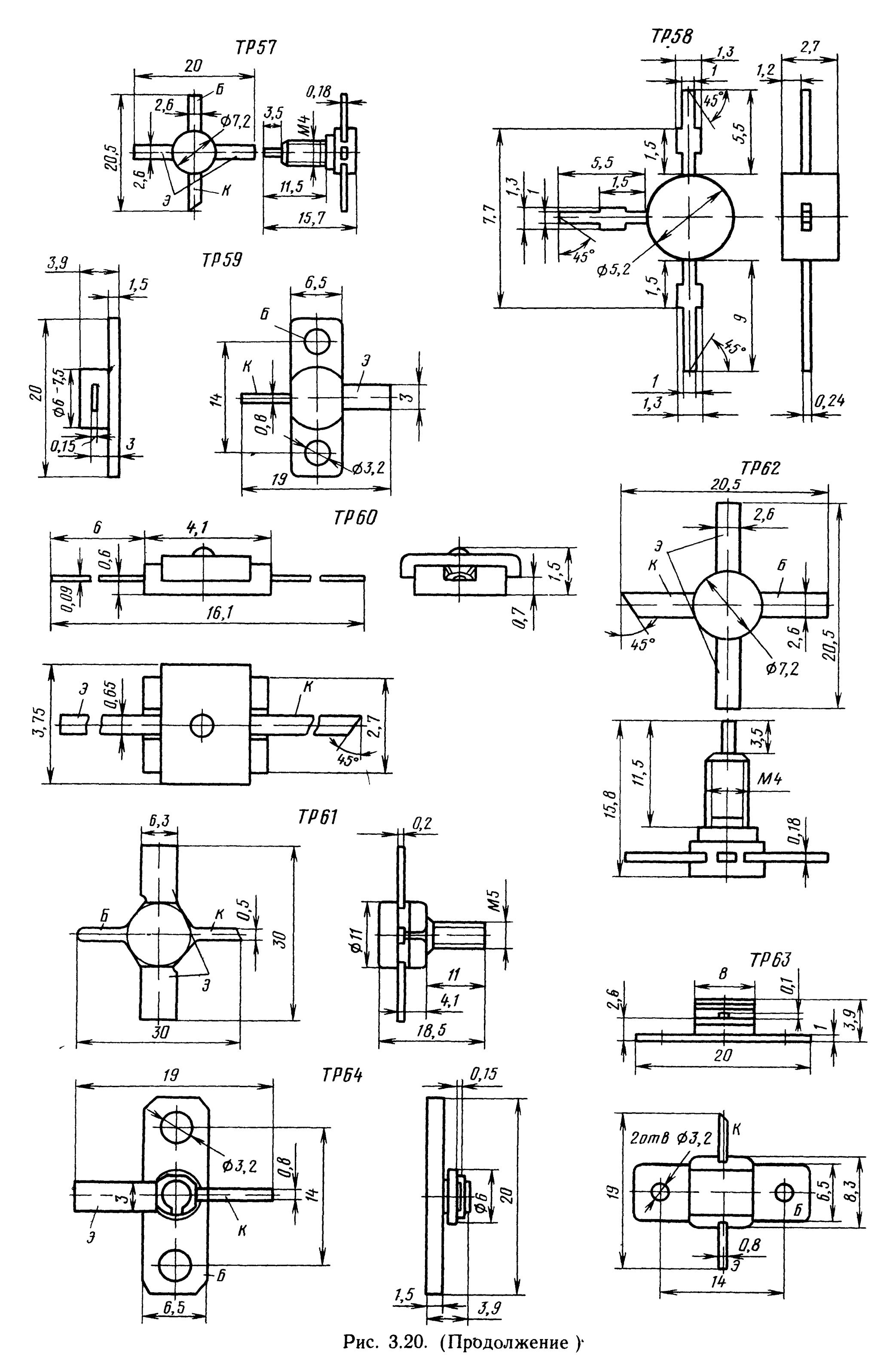


Рис. 3.20. (Продолжение)

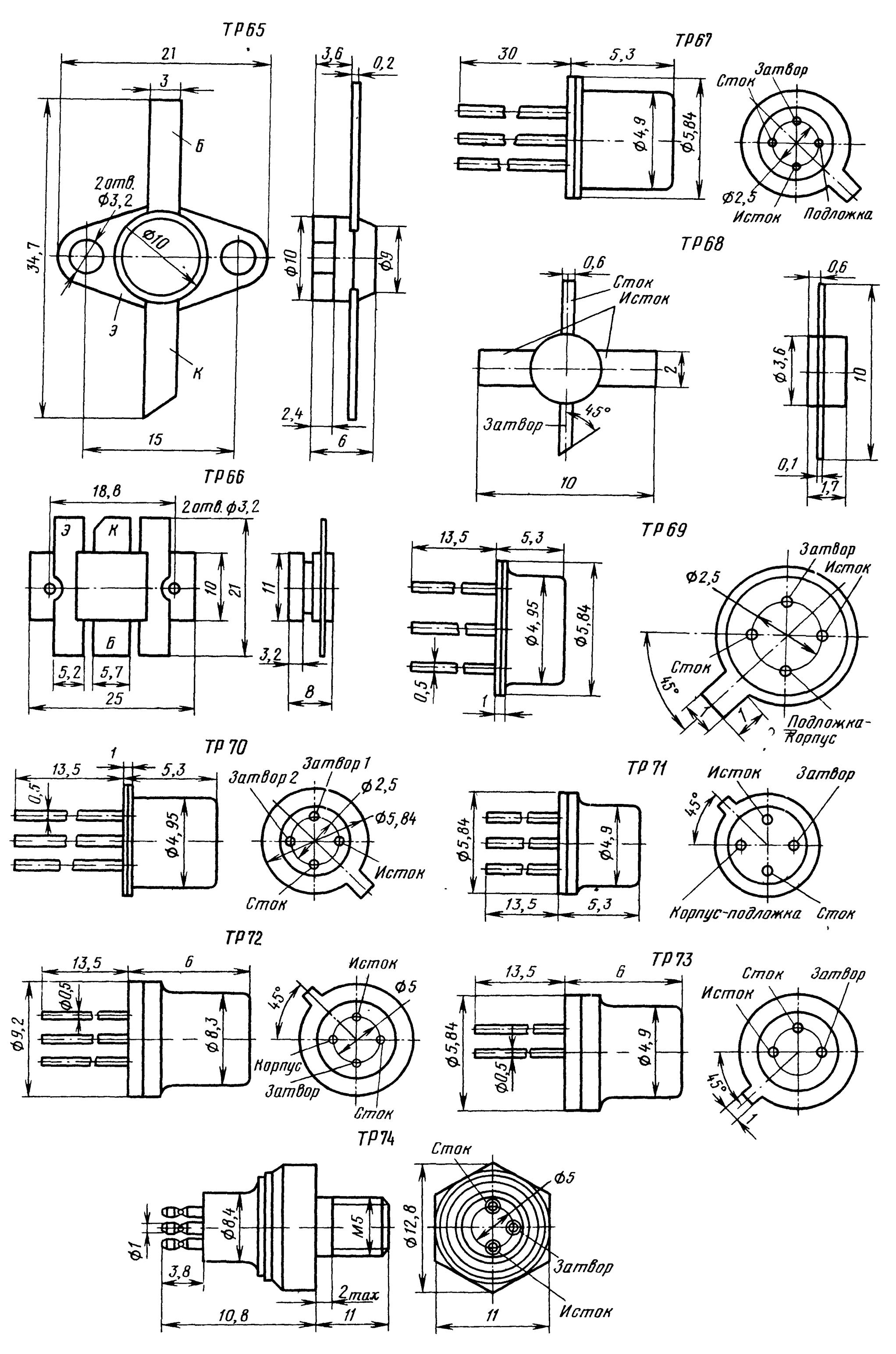


Рис. 3.20. (Продолжение.)

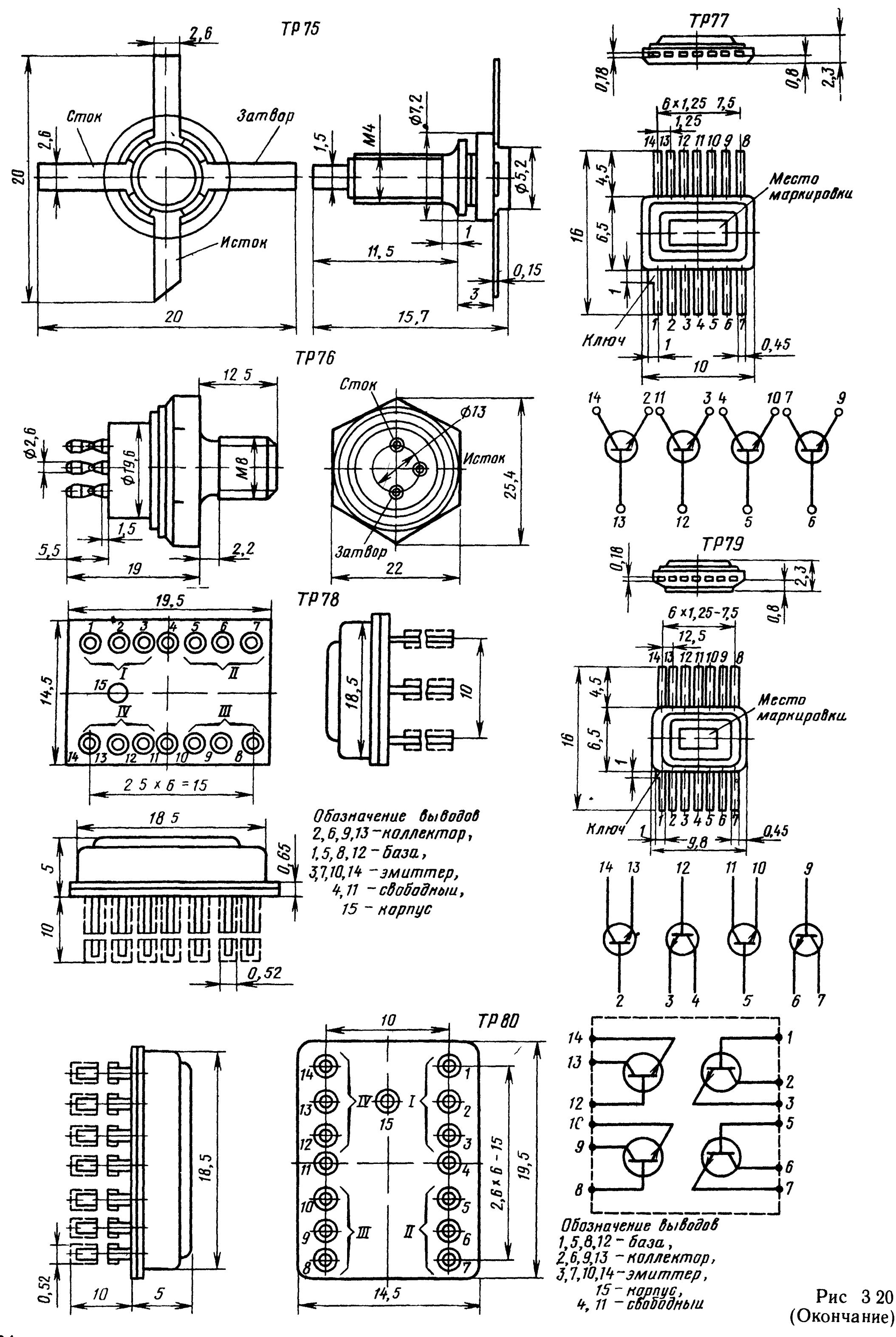


Рис 3 20 (Окончание)

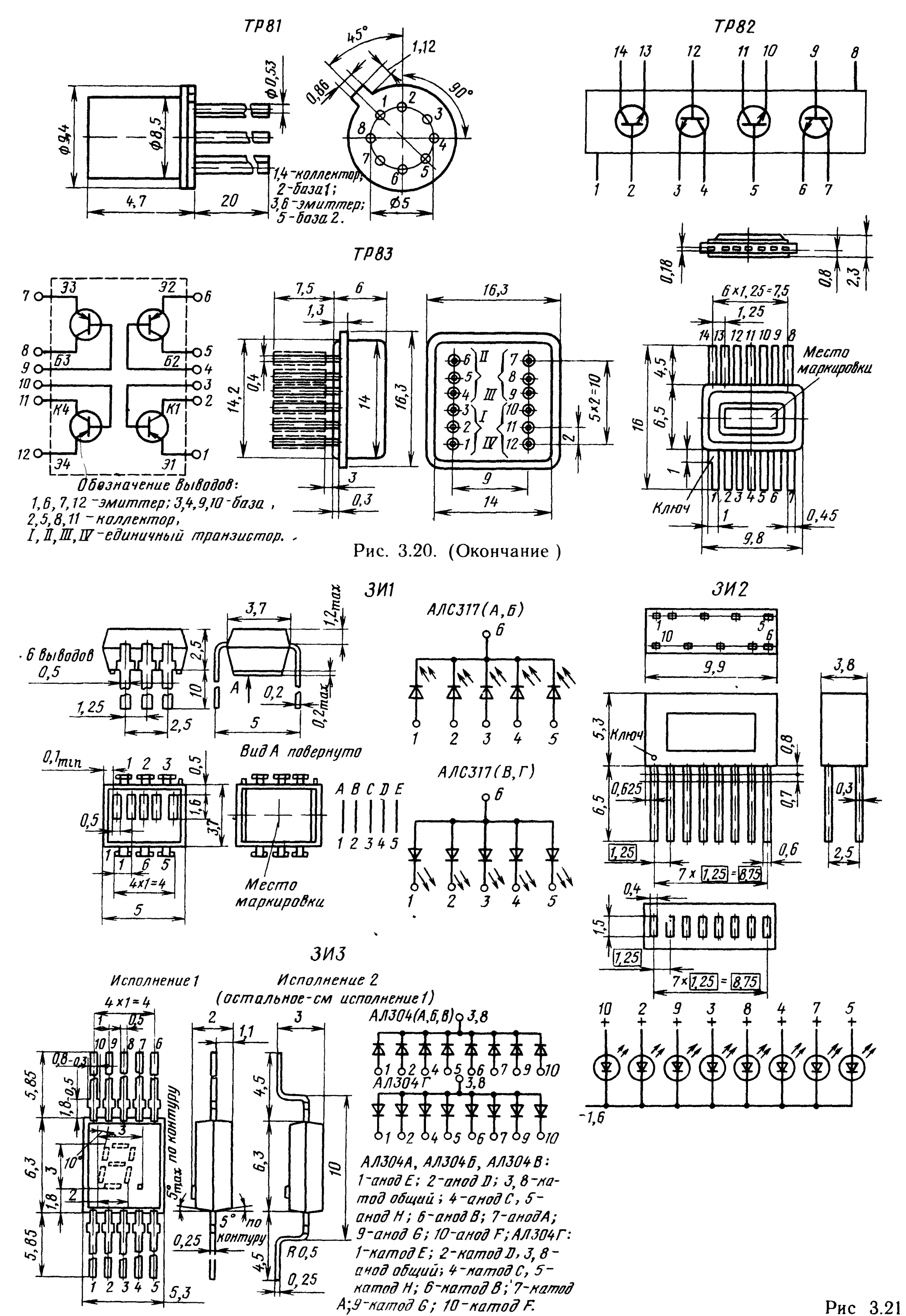
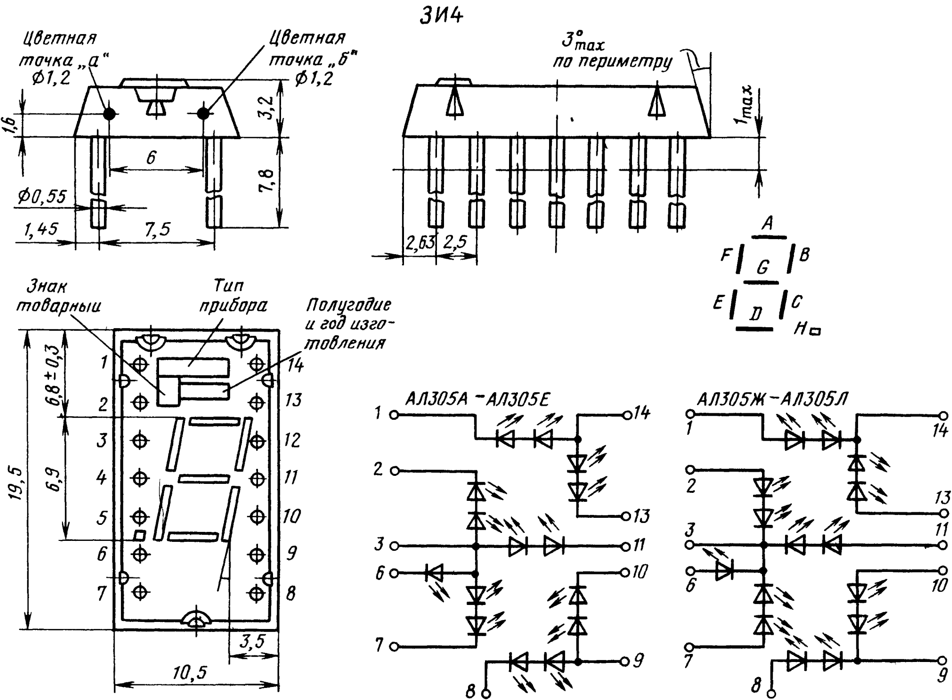


Рис. 3.20. (Окончание)

Рис 3.21

ЗИ4



АЛ305А–АЛ305Е: 1-катод A, 2-катод F, 3,9,14-анод общий, 6-катод H, 7-катод E, 8-катод D, 10-катод C, 11-катод G; 13-катод B,
АЛ305Ж–АЛ305Л: 1-анод A, 2-анод F, 3,9,14-катод общий, 6-анод H, 7-анод E, 8-анод D, 10-анос C, 11-анод G, 13-анод B

ЗИ5

Цветная точка „а" Ф1,2 Цветная точка „б" Ф1,2

3°_{max} по периметру

3,2 1,6 7,8 Ф0,55 1,45 7,5 1_{max} 2,63 2,5

Тип прибора	Цвет точки	
	а	б
АЛ306А	Белый	Белый
АЛ306Б	"	—
АЛ306В	Черный	Черный
АЛ306Г	"	—
АЛ306Д	Зеленый	Зеленый
АЛ306Е	"	—
АЛ306Ж	Красный	Красный
АЛ306И	"	—

Знак товарный Полугодие и год изготовления

5,81 19,5 $8,9_{max}$ Ряды 6,4 2,7 10,5

Тип прибора а)

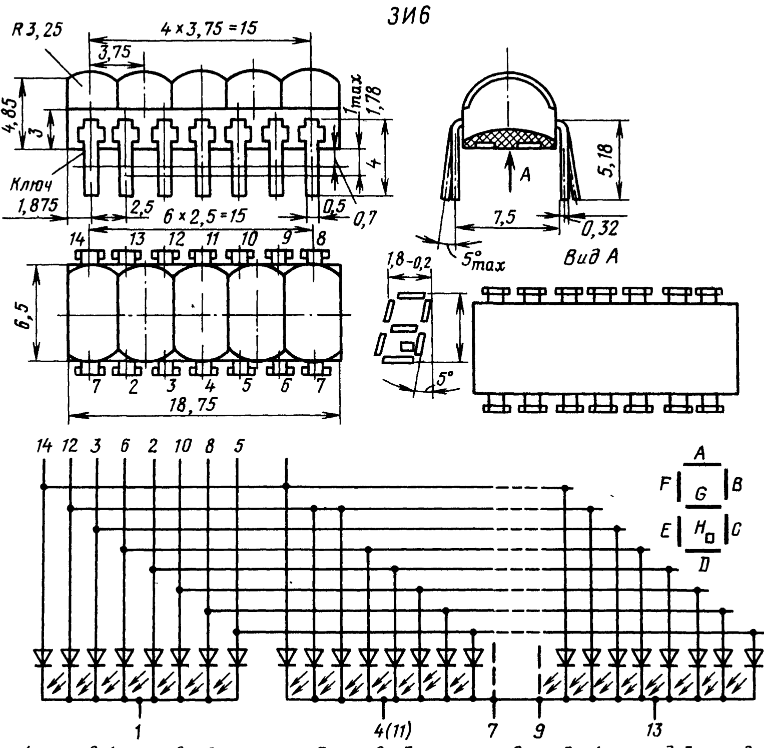
АЛ306 (В–Е) Ряды Колонки б)

АЛ306 (А,Б,Ж,И) Ряды Колонки в)

Рис 3 21 (Продолжение)

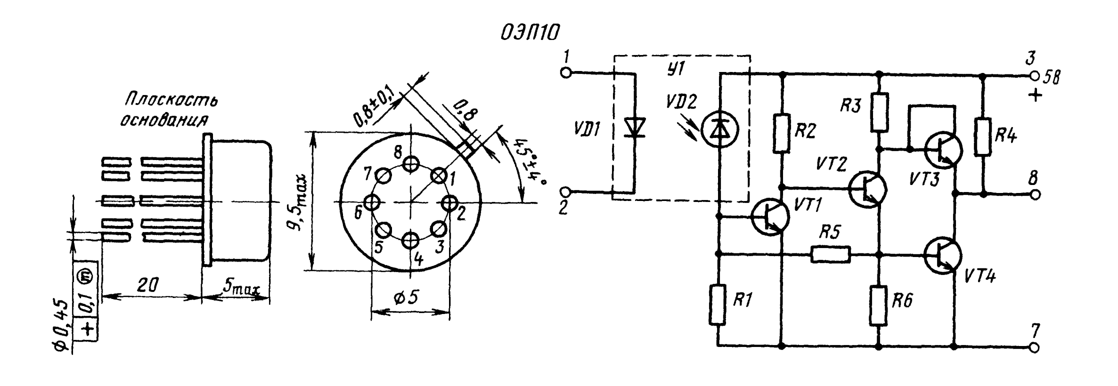
Таблица 3.97. **Излучающие диоды ИК-диапазона**

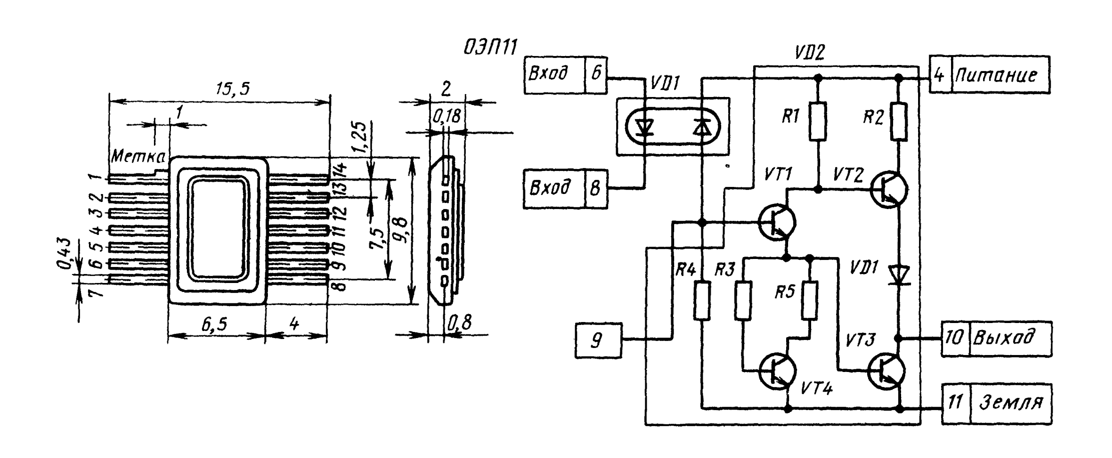
Тип	$P(P_и)$, мВт	$I_{пр}$, мА ($I_{пр\ и}$, А)	$\lambda_м$, мкм	$\Delta\lambda$, нм	$U_{пр}(U_{пр\ и})$, В	$I_{пр}$, мА ($I_{пр\ и}$, А)	$U_{обр}$ ($U_{обр\ и}$), В	$t_н$, мкс	$t_с$, мкс	Масса, г	Корпус (рис. 3.21)
АЛ106А	0,2	100	0,93	25	1,7	120	—	0,01	0,02	0,5	И12
АЛ106Б	0,4	100	0,93	25	1,7	120	—	0,01	0,02	0,5	И12
АЛ106В	0,6	100	0,93	25	1,7	120	—	0,01	0,02	0,5	И12
АЛ103Б	0,6	50	0,95	10...50	1,6	52	(2)	0,2...0,3	0,5	0,1	И13
АЛ103А	1	50	0,95	10...50	1,6	52	(2)	0,2...0,3	0,5	0,1	И13
АЛ108А	1,5	100	0,94	35...70	1,35	110 (4)	2	0,4...2,4	1...2	0,15	И14
АЛ107Б	10 (50)	100 (0,8)	0,9...1,2	—	2	100 (0,8)	—	—	—	0,2	И15
АЛ115А	10	50	0,95	50	2	50	4	0,3	0,5	0,2	И16
АЛ107А	60 (300)	100 (0,8)	0,9...1,2	—	2	100 (0,8)	—	—	—	0,2	И15



1-разряд 1, катод; 2-сегмент E, анод; 3-сегмент C, анод; 4-разряд 3, катод; 5-сегмент H, анод; 6-сегмент D, анод; 7-разряд 5, катод; 8-сегмент G, анод; 9-разряд 4, катод; 10-сегмент F, анод; 11-разряд 3, катод; 12-сегмент B, анод; 13-разряд 2, катод; 14-сегмент A, анод.

Рис. 3.21. (Продолжение.)





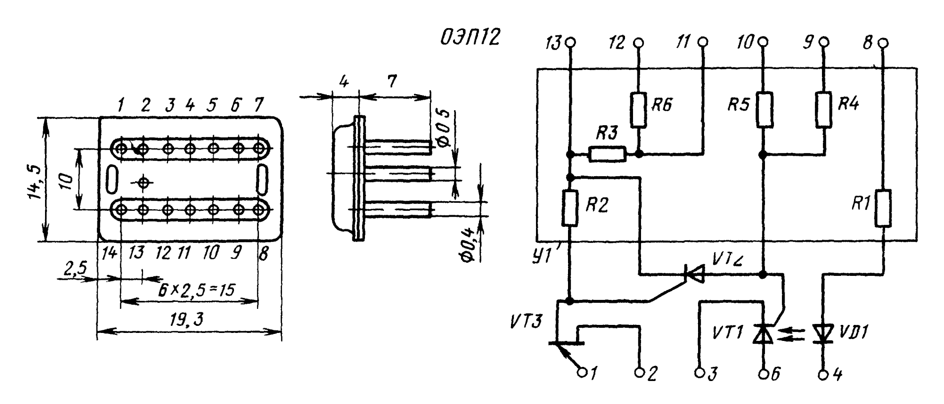


Рис 3 21 (Продолжение)

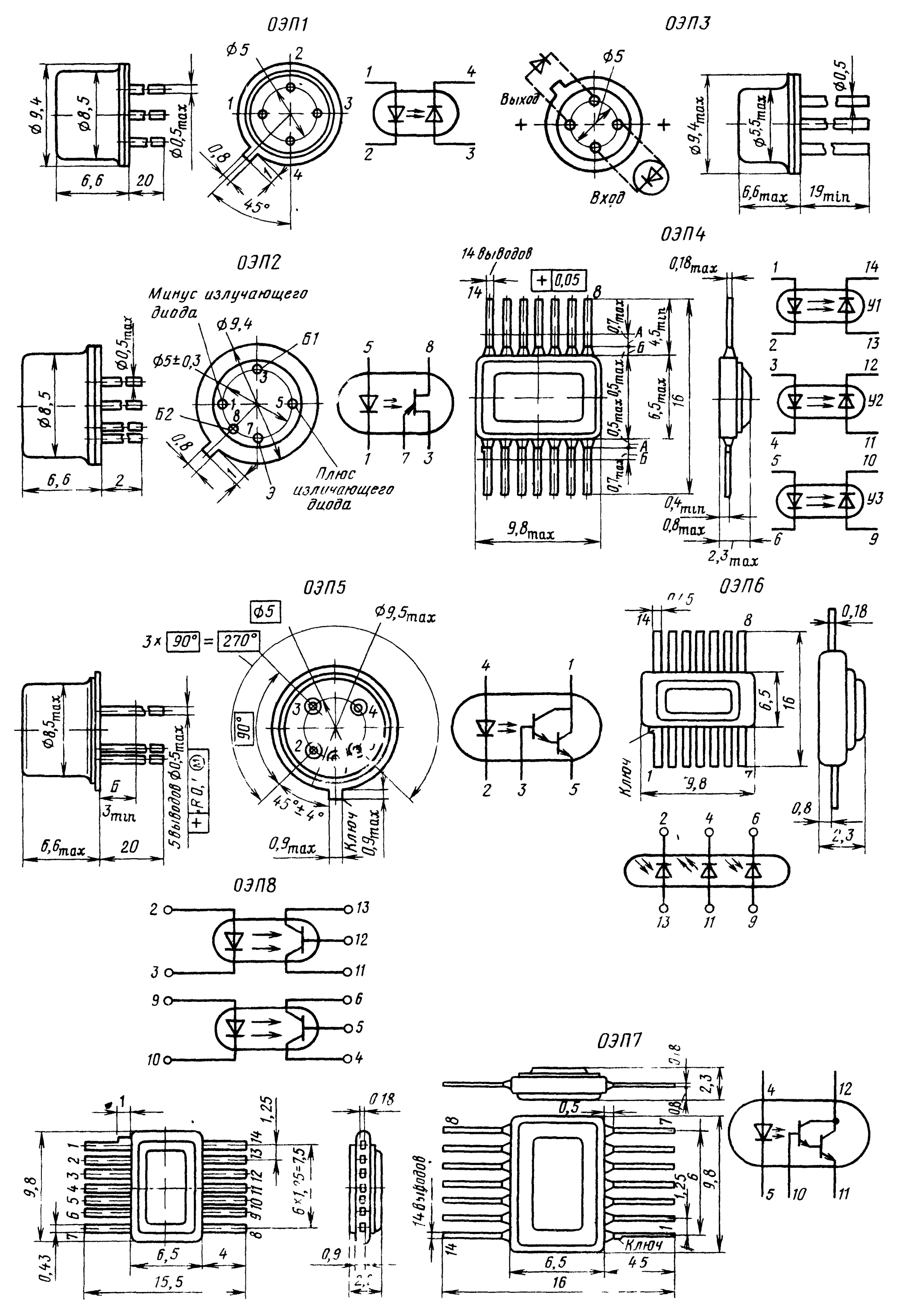
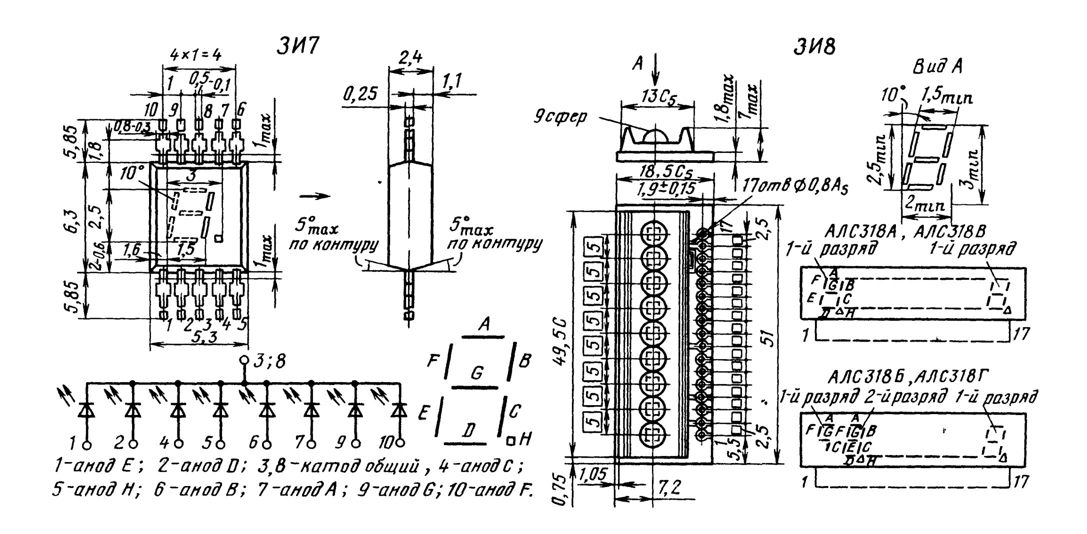
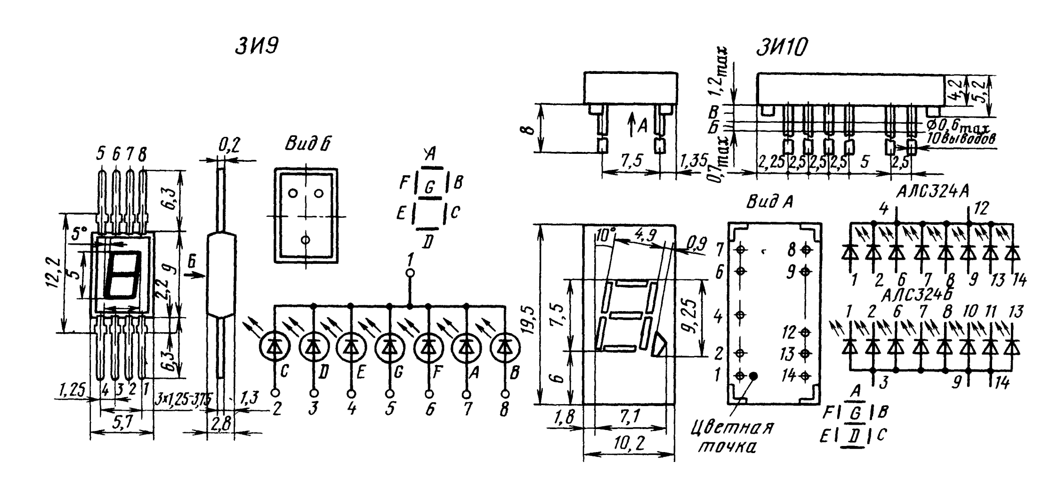


Рис. 3.21. (Продолжение)





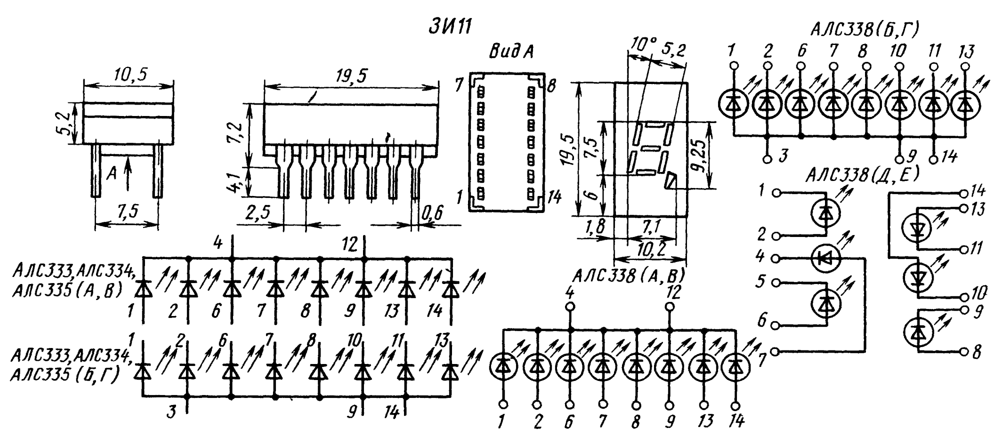
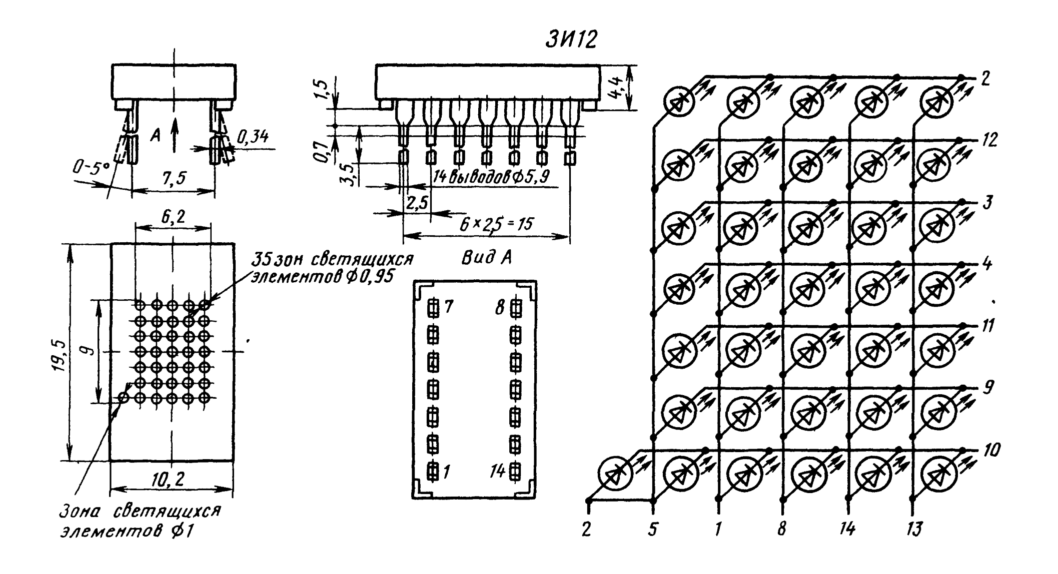
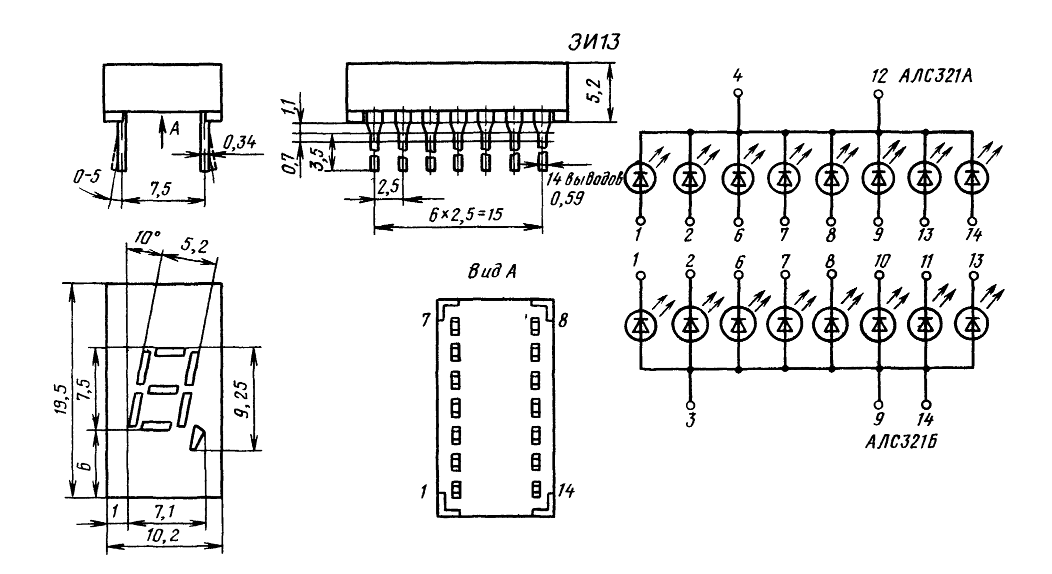


Рис. 3.21. (Продолжение.)





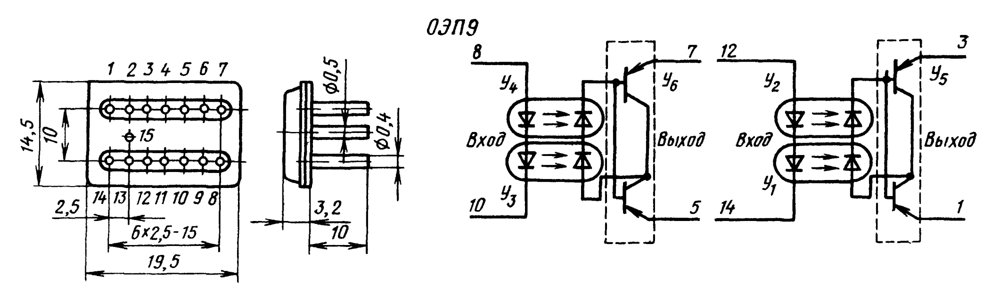


Рис 3 21 (Продолжение)

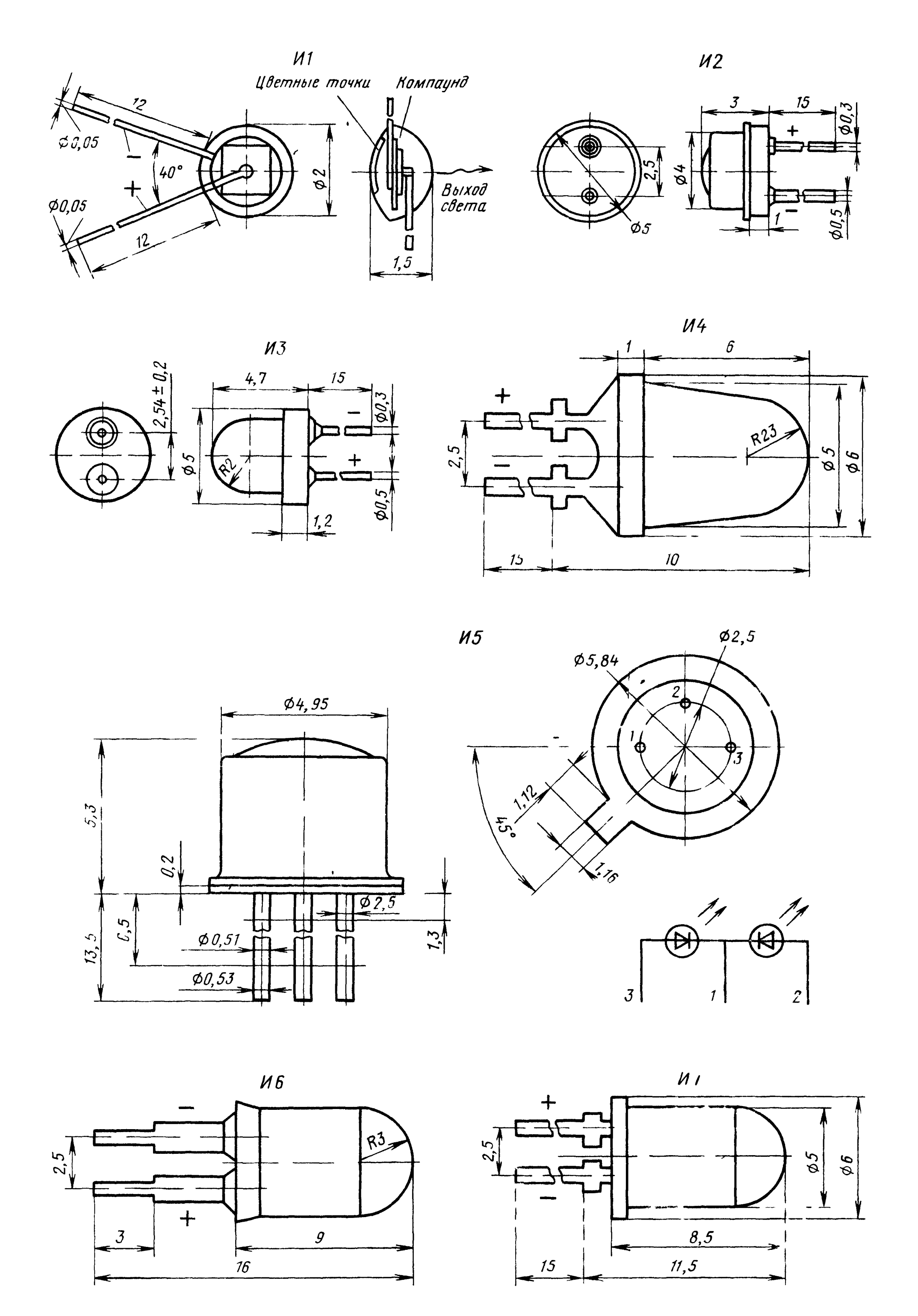


Рис 3 21 (Продолжение)

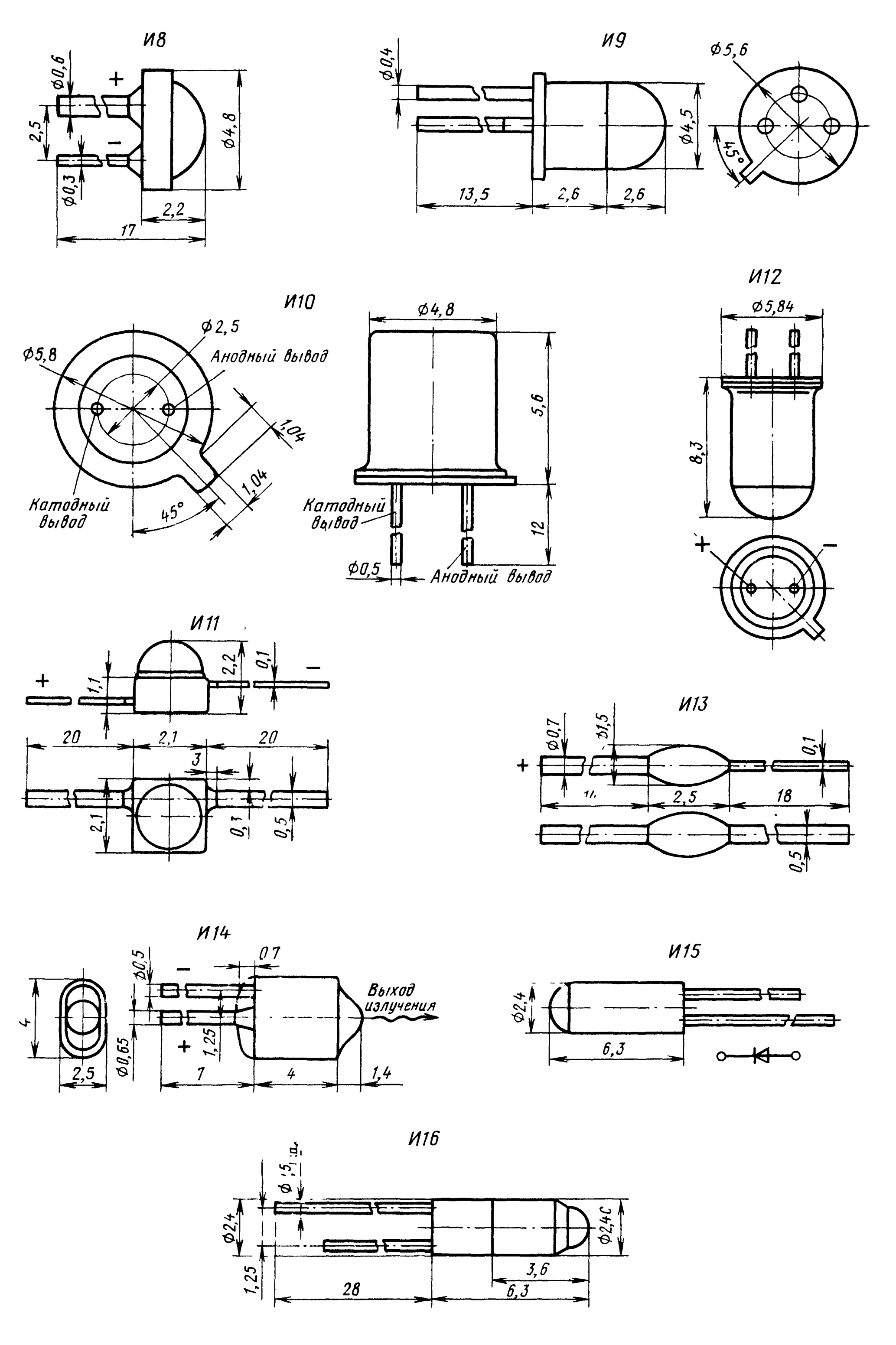


Рис. 3.21. (Окончание.)

Таблица 3.98 **Оптопары и оптоэлектронные ключи**

Тип	$I_{вх\ опт}$, мА	$I_{вх\ опт\ и}$, мА	$U_{вх—вых}$, В	$U_{вх\ обр}$, ($U_{обр}$), В	$I_{вых\ и}$ ($I_{вых}$), мА	$I^0_{вх}$ ($I^0_{вых}$), мА	$I^1_{вх}$ ($I^1_{вых}$), мА	$U_{ком}$, В ($I_{ком}$ мА)	$(du/dt)_{вых}$ В/мкс	$P_{рас}$ ($P_{отр}$), мВт	K_I (%)
АОД101А	20	100	100	3,5(15)							(1)
АОД101Б	20	100	100	3,5(100)							(1,5)
АОД101В	20	100	100	3,5(15)							(1,2)
АОД101Г	20	100	100	3,5(15)							(0,7)
АОД101Д	20	100	100	3,5(15)							(1)
АОТ102А	40	150	500							300	0,5 0,55
АОТ102Б	40	150	500							300	0,54 0,6
АОТ102В	40	150	500							300	0,59 0,66
АОТ102Г	40	150	500							300	0,64 0,71
АОТ102Д	40	150	500							300	0,7 0,78
АОТ102Е	40	150	500							300	0,77 0,85
АОУ103А	55				(100)				5		
АОУ103Б	55				(100)				5		
АОУ103В	55				(100)				5		
АОД109А	10	100	100	3,5(40)							(1,2)
АОД109Б	10	100	100	3,5(10)							(1)
АОД109В— АОД109И	10	100	100	3,5(40)							(1,2)
АОТ110А	30	100	100	0,7	200 (200)			30		360	
АОТ110Б	30	100	100	0,7	100 (100)			50		360	
АОТ110В	30	100	100	0,7	100 (100)			30		360	
АОТ110Г	30	100	100	0,7	200 (200)			15		360	
АОД111А	40	100									
АОТ122А	15	85			(15)			50			
АОТ122Б	15	85			(25)			30			
АОТ122В	15	85			(15)			30			
АОТ122Г	15	85			(15)			15			
К249КП1 К249КП2	10	20	100	2,5				30(5)		34	(0,5)
К249КН1А К249КН1Б	30	100	100	3,5				30(0,5)			
К249КН1В К249КН1Г К249КН1Д К249КН1Е	30	100	100	3,5				30(0,5)			
К262КП1А											
К262КП1Б						(10)	(1)		10		
249ЛП1А	20	100	100	3,5		(1,8)	(1,5)			(5)	
249ЛП1Б	20	100	100	3,5		(1,8)	(1,5)			(5)	
249ЛП1В	20	100	100	3,5		(1,8)	(1,5)			(5)	
295АГ1А			100		(50)				50	500	
295АГ1Б			100		(50)				50	500	
295АГ1В			100		(100)				50	500	
295АГ1Г			100		(100)				50	500	
295АГ1Д			100		(200)				50	500	

* Значение в микросекундах

$U_{вх}$ ($U_{пит}$), В	$U_{вых}$, В	$U_{вкл}$, В	$I_{вкл}$ ($I_{выкл}$), мА	$I_{ут\ вых}$, мкА	$U^0_{вых}$ ($U^1_{вых}$), В	$U_{пр\ вых}$ ($U_{обр\ вых}$), В	$t_{нр}$, нс ($t_{зд\ вкл}$, мкс)	$t_{сп}$, нс ($t_{зд\ выкл}$, мкс)	$C_{вх-вых}$, пФ	$R_н \times 10^9$, Ом ($U_н$, В)	Масса, г	Корпус (рис 3 21)
1,5							100	100	2	1	1,1	ОЭП1
1,5							500	500	2	1	1,1	ОЭП1
1,5							1000	1000	2	1	1,1	ОЭП1
1,5							500	500	2	5	1,1	ОЭП1
1,8							250	250	2	1	1,1	ОЭП1
2	4		(1)	1						0,1	1,5	ОЭП2
2	4		(1)	1						0,1	1,5	ОЭП2
2	4		(1)	1						0,1	1,5	ОЭП2
2	4		(1)	1						0,1	1,5	ОЭП2
2	4		(1)	1						0,1	1,5	ОЭП2
2	4		(1)	1						0,1	1,5	ОЭП2
2	2		20(10)	100		50					1,2	ОЭП3
2	2		50(10)	100		200					1,2	ОЭП3
2	2		20(10)	100		200(200)					1,2	ОЭП3
1,5							1000	1000	2	1	0,49	ОЭП4
1,5							500	500	2	1	0,49	ОЭП4
1,5							500	500	2	1	0,49	ОЭП4
2	1,5			100						1	1,5	ОЭП5
2	1,5			100						1	1,5	ОЭП5
2	1,5			100						1	1,5	ОЭП5
2	1,5			100						1	1,5	ОЭП5
2						(6)					0,5	ОЭП6
1,6	1,5			10			6*	100*		1(100)	0,6	ОЭП7
1,6	1,5			10			6*	100*		1(100)	0,6	ОЭП7
1,6	1,5			10			6*	100*		1(100)	0,6	ОЭП7
1,6	1,5			10			6*	100*		1 (100)	0,6	ОЭП7
							(4...8)	(4...25)		0,5	2	ЭЛП8
3,5	0,2			0,05			(10)	(10)	5	1	2,5	ОЭП9
3,5	0,2			0,1			(10)	(10)	5	1	2,5	ОЭП9
(5)					0,3		100(0,7)	100(0,7)	5	0,1	2,5	ОЭП10
(5)					0,3		100	100	5	0,1	2,5	ОЭП10
					(2,3)		(0,35)	(0,35)				
1,5					0,3		(0,5)	(0,9)	2	1	0,4	ОЭП11
(5)					(2,3)							
1,5					0,3		(0,3)	(0,6)	2	1	0,4	ОЭП11
(5)					(2,3)							
1,5					0,3		(1)	(1,2)	2	1	0,4	ОЭП11
(5)					(2,3)							
(12)	2,5	3,6	20	10						0,1	2,5	ОЭП12
(27)	2,5	3,6	20	10						0,1	2,5	ОЭП12
(27)	2,5	3,6	20	10						0,1	2,5	ОЭП12
(48)	2,5	3,6	20	10						0,1	2,5	ОЭП12
(48)	2,5	3,6	20	10						0,1	2,5	ОЭП12

Таблица 3.99. **Знаковые индикаторы**

Тип	I_V (B), мкд (кд/м²)	$I_{пр}$, мА	Высота знаков, мм (число разрядов)	K	$\lambda_м$, мкм	$U_{пр}$, В	$U_{обр\,max}$, В	$I_{пр\,max}$ ($I_{пр\,и\,max}$), мА	P, мВт	Масса, г	Корпус (рис 3.21)
					Линейные шкалы						
АЛС317А	0,16	10	–	3	0,665	2	—	12	—	0,25	ЗИ1
АЛС317Б	0,35	10	—	3	0,665	2	—	12	—	0,25	ЗИ1
АЛС317В	0,08	10	—	3	0,568	3	—	12	—	0,25	ЗИ1
АЛС317Г	0,16	10	–	3	0,568	3	—	12	—	0,25	ЗИ1
АЛС345А	0,3	10	–	0,4	0,67	2,2	4,0	12	—	1,5	ЗИ2
АЛС345Б	0,2	10	—	0,5	0,67	2,2	4,0	12	—	1,5	ЗИ2
					Знаковые индикаторы красного цвета свечения						
АЛ304А	(140)	5	3	—0,6	—	2	—	11	264	0,25	ЗИ3
АЛ304Б	(320)	5	3	—0,6	—	2	—	11	264	0,25	ЗИ3
АЛ304Г	(350)	5	3	—0,6	—	3	—	11	264	0,25	ЗИ3
АЛ305А	(350)	20	6,9	—0,6	—	4	—	22	—	1,5	ЗИ4
АЛ305Б	(200)	20	6,9	±0,6	—	4	—	22	—	1,5	ЗИ4
АЛ305В	(120)	20	6,9	±0,6	—	4	—	22	—	1,5	ЗИ4
АЛ305Г	(60)	20	6,9	—0,6	—	6		22	—	1,5	ЗИ4
АЛ305Ж	(350)	20	6,9	—0,6	—	6	—	22	—	1,5	ЗИ4
АЛ305И	(200)	20	6,9	—0,6	—	6	—	22	—	1,5	ЗИ4
АЛ305К	(120)	20	6,9	±0,6	—	6	—	22	—	1,5	ЗИ4
АЛ305Л	(60)	20	6,9	±0,6	—	6	—	22	—	1,5	ЗИ4
АЛ306А	(350)	10	8,9	—0,6	—	2	—	11	792	1,5	ЗИ5
АЛ306Б	(200)	10	8,9	±0,6	—	2	—	11	792	1,5	ЗИ5
АЛ306В	(350)	10	8,9	—0,6	—	3	—	11	1188	1,5	ЗИ5
АЛ306Г	(200)	10	8,9	±0,6	—	3	—	11	1188	1,5	ЗИ5
АЛ306Д	(120)	10	8,9	±0,6	—	3	—	11	1188	1,5	ЗИ5
АЛ306Е	(60)	10	8,9	±0,6	—	3	—	11	1188	1,5	ЗИ5
АЛС311А	0,4	0,8	3	—	0,65...0,66	2	5	5	—	5	ЗИ6
АЛС314А	(350)	5	2,5	±0,5	0,65...0,67	2	5	8	—	0,25	ЗИ7
АЛС318А	0,95	5	2,5 (9)	—	—	1,9	5	(40)	45	7,7	ЗИ8
АЛС318Б	0,95	5	2,5 (9)	—	—	1,9	5	(40)	45	7,7	ЗИ8
АЛС318В	0,95	5	2,5 (9)	—	—	1,9	5	(40)	45	7,7	ЗИ8
АЛС318Г	0,95	5	2,5 (9)	—	—	1,9	5	(40)	45	7,7	ЗИ8
АЛС320А	0,4	10	5	—	0,62...0,67	2	2	(60)	—	0,3	ЗИ9
АЛС320Г	0,6	10	5	—	0,62...0,67	2	2	(60)	—	0,3	ЗИ9
АЛС324А	0,15	20	7,5	3	0,65...0,67	2,5	5	(300)	500	2	ЗИ10
АЛС324Б	0,15	20	7,5	3	0,65...0,67	2,5	5	(300)	500	2	ЗИ10
АЛС333А	0,2	20	12	3	—	2	5	25	400	2,6	ЗИ11
АЛС333Б	0,2	20	12	3	—	2	5	25	400	2,6	ЗИ11
АЛС333В	0,15	20	12	3	—	2	5	25	400	2,6	ЗИ11
АЛС333Г	0,15	20	12	3	—	2	5	25	400	2,6	ЗИ11
АЛС340А	0,125	10	9	4	—	2,5	4	(200)	550	3,5	ЗИ12
					Знаковые индикаторы зеленого цвета свечения						
АЛ304В	(60)	10	3	—0,6	—	3	—	11	264	0,25	ЗИ3
АЛ305Д	(120)	20	6,9	—0,5	—	6	—	22	—	1,5	ЗИ4
АЛ305Е	(60)	20	6,9	±0,6	—	6	—	22	—	1,5	ЗИ4
АЛ306Ж	(120)	10	8,9	—0,5	—	3	—	11	1188	1,5	ЗИ5
АЛ306И	(60)	10	8,9	±0,6	—	3	—	11	1188	1,5	ЗИ5
АЛС320Б	0,15	10	5	—	0,55...0,57	3	5	(60)	—	0,3	ЗИ9
АЛС320В	0,25	10	5	—	0,55...0,57	3	5	(60)	—	0,3	ЗИ9

Окончание табл. 3.99.

Тип	I_v (B), мкд (кд/м²)	$I_{пр}$, мА	Высота знаков, мм (число разрядов)	K	$\lambda_м$, мкм	$U_{пр}$, В	$U_{обр\,max}$, В	$I_{пр\,max}$ ($I_{пр\,и\,max}$), мА	P, мВт	Масса, г	Корпус (рис 3.21)
АЛС335А	0,25	20	12	3	—	3,5	5	25	660	2,6	3И11
АЛС336Б	0,25	20	12	3	—	3,5	5	25	660	2,6	3И11
АЛС335В	0,15	20	12	3	—	3,5	5	25	660	2,6	3И11
АЛС335Г	0,15	20	12	3	—	3,5	5	25	660	2,6	3И11
АЛС338А	0,15	20	7	—	—	3,5	5	(200)	700	2,5	3И11
АЛС338Б	0,15	20	7	—	—	3,5	5	(200)	700	2,5	3И11
АЛС338В	0,15	20	7	—	—	3,5	5	(200)	700	2,5	3И11
Знаковые индикаторы желтого цвета свечения											
АЛС334А	0,2	20	12	3	—	3,3	5	25	660	2,6	3И11
АЛС334Б	0,2	20	12	3	—	3,3	5	25	660	2,6	3И11
АЛС334В	0,15	20	12	3	—	3,3	5	25	660	2,6	3И11
АЛС334Г	0,15	20	12	3	—	3,3	5	25	660	2,6	3И11
КЛЦ402А	0,5	20	18	3	—	6	10	25	1130	10	3И13
КЛЦ402Б	0,5	20	18	3	—	6	10	25	1130	10	3И13
Знаковые индикаторы желто-зеленого цвета свечения											
АЛС321А	0,12	20	7,5	3	—	3,6	5	25	720	2	3И13
АЛС321Б	0,12	20	7,5	3	—	3,6	5	25	720	2	3И13

дикатора знаков. Основные параметры полупроводниковых знаковых индикаторов приведены в табл. 3.99, где K — относительный разброс яркости или света оптоэлектронного прибора; P — мощность излучения.

Оптопара — оптоэлектронный полупроводниковый прибор, состоящий из излучающего и фотоприемного элементов, между которыми имеется оптическая связь, обеспечивающая электрическую изоляцию между входом и выходом.

Основные параметры оптопар и оптоэлектронных ключей при нормальной температуре окружающей среды приведены в табл. 3.98, где $I_{вх,\,опт}$ — входной ток оптопары; $U_{вх-вых}$ — напряжение между входом и выходом; $U_{вх,\,обр}$ — обратное входное напряжение; $I_{вых,\,и}$ ($I_{вых}$) — импульсный (постоянный) выходной ток; $I^0_{вх}$ — входной ток логического нуля; $I^0_{вых}$ — втекающий выходной ток нагрузки; $I^1_{вх}$ — входной ток логической единицы; $I^1_{вых}$ — вытекающий выходной ток нагрузки; $U_{ком}$ — коммутируемое напряжение на выходе; $I_{ком}$ — постоянный коммутируемый ток на выходе; $(du/dt)_{вых}$ — скорость изменения напряжения, прикладываемого к выходной цепи; $P_{потр}$ — потребляемая мощность; K_i — коэффициент передачи тока; $U_{вх}$ — входное напряжение; $U_{пит}$ — напряжение питания; $U_{вых}$ — выходное остаточное напряжение; $I_{ут,\,вых}$ — ток утечки на выходе оптопары; $U^0_{вых}$, $U^1_{вых}$ — выходное напряжение логического нуля, единицы; $U_{пр,\,вых}$, $U_{обр,вых}$ — выходное прямое, обратное напряжение; $C_{вх-вых}$ — емкость между входом и выходом оптопары; $R_и$ — сопротивление изоляции между входом и выходом оптопары.

3.14. МИКРОСХЕМЫ

Микросхема — это микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию преобразования, обработки сигнала и (или) накапливания информации и имеющее высокую плотность упаковки электрически соединенных элементов (или элементов и компонентов) и кристаллов. Под *плотностью упаковки* понимается отношение числа элементов и компонентов микросхемы, в том числе содержащихся в составе компонентов, к объему микросхемы без учета объема выводов. Микросхемы являются основной элементной базой современной радиоэлектронной аппаратуры — от сложнейших устройств автоматического управления, связи, вычислительной техники, систем контроля до бытовых приборов (телевизоров, магнитофонов, микрокалькуляторов и др.). Внедрение микросхем в различные радиолюбительские устройства позволяет уменьшить габаритные размеры, массу, упростить разработку, повысить качество и надежность аппаратуры, уменьшить потребление мощности от источников питания.

Классификация микросхем и система условных обозначений

В зависимости от технологии изготовления микросхемы делятся на три разновидности: полупроводниковые, пленочные и гибридные.

Полупроводниковая микросхема — это микросхема, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены в объеме и на поверхности полупроводника.

Пленочная микросхема — это микросхема, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены в виде пленок. Вариантами технического исполнения пленочных микросхем являются: тонкопленочные — толщина пленки до 1 мкм, все элементы нанесены на подложку с помощью термовакуумного осаждения и катодного распыления; толстопленочные — толщина пленки более 1 мкм, элементы микросхемы изготовлены методом шелкографии с последующим вжиганием.

Гибридная микросхема — это микросхема, содержащая кроме элементов компоненты и (или) кристаллы. Частным случаем гибридной микросхемы является многокристальная микросхема.

По степени интеграции микросхемы характеризуются числом содержащихся в них элементов и компонентов. Интегральной схемой 1-й степени является микросхема, содержащая от 1 до 10 элементов и компонентов включительно. Микросхемы (2...6)-й степеней интеграции содержат соответственно 11...100, 101...1000, 1001...10 000, 10 001... 100 000, 100 001...1 000 000 элементов и компонентов.

Микросхема, содержащая 500 и более элементов, изготовленных по биполярной технологии, 1000 и более элементов, изготовленных по МДП технологии, называется большой интегральной схемой (БИС).

В зависимости от функционального назначения микросхем делятся на цифровые и аналоговые.

Цифровая микросхема предназначена для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции. Частным случаем цифровой микросхемы является логическая микросхема, реализующая одну из функций алгебры логики: И, ИЛИ, НЕ и др.

Аналоговая микросхема предназначена для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону непрерывной функции. Частным случаем аналоговой микросхемы является микросхема с линейной передаточной характеристикой.

Условное обозначение микросхем состоит из четырех элементов (1500ЛА2, 155ТМ2). Первый элемент — цифра, указывающая на конструктивно-технологическое исполнение: 1, 5, 6, 7 — полупроводниковые; 2, 4, 8 — гибридные; 3 — прочие микросхемы. Второй элемент — две-три цифры, обозначающие порядковый номер разработки данной серии микросхемы. Номер серии образуется цифрами *первого* и *второго* элементов. *Третий* элемент — две буквы, обозначающие функциональную классификацию микросхемы, при этом первая буква обозначает подгруппу, а вторая — вид микросхемы.

Классификация микросхем по функциональному назначению:

Функциональное назначение микросхемы	Буквенное обозначение функции
Генераторы сигналов:	
гармонические	ГС
специальной формы	ГФ
прямоугольной формы	ГГ
линейно изменяющихся	ГЛ
шума	ГМ
прочие	ГП
Детекторы:	
амплитудные	ДА
частотные	ДС
фазовые	ДФ
импульсные	ДИ
прочие	ДП
Коммутаторы и ключи:	
тока	КТ
напряжения	КН
прочие	КП
Модуляторы:	
амплитудные	МА
частотные	МС
фазовые	МФ
импульсные	МИ
прочие	МП
Преобразователи:	
частоты	ПС
фазы	ПФ
напряжения	ПН
длительности (импульсов)	ПД
мощности	ПМ
уровня (согласователи)	ПУ
код — аналог (декодирующие)	ПА
аналог — код (кодирующие)	ПВ
код — код	ПР
прочие	ПП
Усилители:	
синусоидальных сигналов*	УС*
постоянного тока	УТ
видеоусилители*	УБ*
импульсных сигналов	УИ
повторители	УЕ
высокой частоты	УВ
промежуточной частоты	УР
низкой частоты	УН
считывания и воспроизведения	УЛ
индикации	УМ
операционные и дифференциальные	УД
прочие	УП
Устройства селекции и сравнения:	
амплитудные (уровня сигнала)	СА
временные	СВ
частотные	СС
фазовые	СФ
прочие	СП

Функциональное назначение микросхемы	Буквенное обозначение функции
Устройства (линии) задержки:	
пассивные	БМ
активные	БР
прочие	БП
Фильтры:	
верхних частот	ФВ
нижних частот	ФН
полосовые	ФЕ
режекторные (заградительные)	ФР
прочие	ФП
Формирователи импульсов:	
прямоугольной формы	АГ
импульсов специальной формы	АФ
адресных токов	АА
разрядных токов	АР
прочие	АП
Вторичные источники питания:	
выпрямители	ЕВ
преобразователи	ЕМ
стабилизаторы напряжения	ЕН
стабилизаторы тока	ЕТ
прочие	ЕП
Наборы элементов (микросборки):	
диодов	НД
транзисторов	НТ
резисторов	НР
конденсаторов	НЕ
комбинированные	НК
прочие	НП
Многофункциональные устройства:	
аналоговые	ХА
цифровые (логические)	ХЛ
комбинированные	ХК
прочие	ХП
Логические элементы:	
И	ЛИ
ИЛИ	ЛЛ
НЕ	ЛН
И — ИЛИ	ЛС
И — НЕ	ЛА
ИЛИ — НЕ	ЛЕ
И — НЕ/ИЛИ — НЕ	ЛБ
И — ИЛИ — НЕ	ЛР
И — ИЛИ — НЕ/И — ИЛИ	ЛК
ИЛИ — НЕ/ИЛИ	ЛМ
Расширители	ЛД
прочие	ЛП
Триггеры:	
Шмитта	ТЛ
динамические	ТД
типа Т	ТТ
типа RS	ТР
типа D	ТМ
типа JK	ТВ
комбинированные	ТК
прочие	ТП
Элементы арифметических и дискретных устройств:	
регистры	ИР
сумматоры	ИМ
полусумматоры	ИЛ
счетчики	ИЕ
шифраторы	ИВ
дешифраторы	ИД
комбинированные	ИК
прочие	ИП
Элементы запоминающих устройств:	
матрицы-накопители ОЗУ	РМ
матрицы-накопители со схемами управления	РУ
матрицы-накопители ПЗУ	РВ
матрицы-накопители ПЗУ с устройствами управления	РЕ
прочие	РП
ПЗУ с устройством управления	
ПЗУ с устройством управления и с однократным программированием	РТ
ПЗУ с устройствами управления и с многократным программированием	РР
ОЗУ с устройствами управления	РА
прочие	РП

* В разработках после 1974 г не применяются

Четвертый элемент — порядковый номер разработки по функциональному признаку микросхемы. Этот номер может состоять из одной или нескольких цифр. Таким образом, запись 155ТМ2 расшифровывается как полупроводниковая микросхема серии 155, являющаяся триггером D-типа, порядковый номер которого равен двум. Для микросхем широкого применения в начале условного обозначения указывается буква «К», например К155ТМ2. В конце условного обозначения микросхемы может быть буквенный индекс (от А до Я), характеризующий отличие микросхемы данного типа по численному значению одного или нескольких параметров, например К140УД8А отличается от К140УД8Б.

Конструкции микросхем и их монтаж. По конструктивному оформлению микросхемы можно разделить на бескорпусные и корпусные. Бескорпусные представляют собой кристалл с гибкими или твердыми выводами. Они используются в производстве гибридных микросборок для аппаратуры с минимальными габаритными размерами и массой. При этом функции защиты от внешних

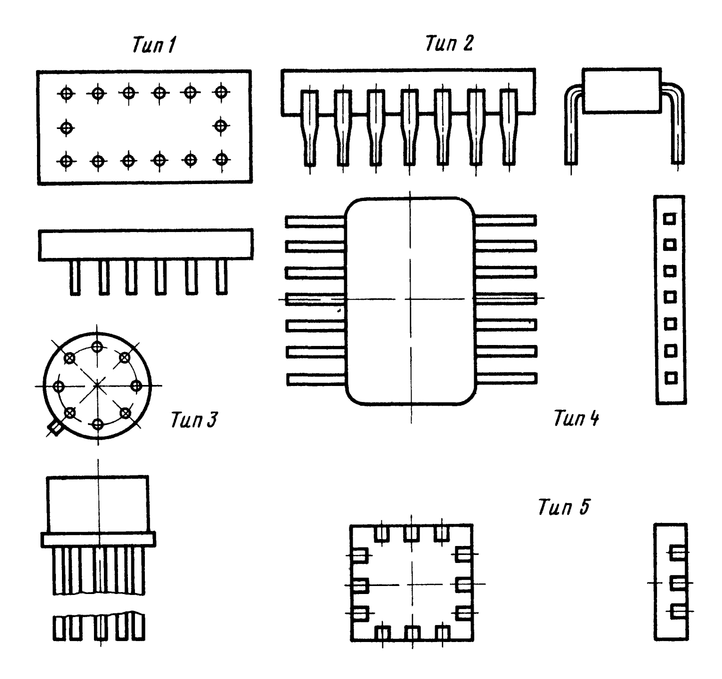


Рис 3.22

воздействий возлагаются на корпус несущей конструкции с бескорпусными микросхемами.

Корпуса микросхем выполняют ряд функций, основные из которых следующие: защита микросхемы от климатических и механических воздействий; для соединения ее с внешними электрическими цепями с помощью выводов; экранирование от помех; унификация по габаритным и установочным размерам. Конструкция корпусов во многом определяет надежность микросхем, плотность монтажа аппаратуры и технологичность ее изготовления.

По конструктивно-технологическому признаку различают корпуса: металлостеклянные, металлополимерные, металлокерамические, керамические, пластмассовые. Каждый вид корпуса характеризуется габаритными и присоединительными размерами, числом выводов и расположением их относительно плоскости основания корпуса. Выводы микросхем могут лежать в плоскости основания корпуса (планарные выводы) или быть перпендикулярными ему (штыревые выводы). Планарные выводы по сечению, как правило, прямоугольные, штыревые — круглые или прямоугольные

В соответствии с ГОСТ 17467—79 приняты пять типов корпусов (рис 3 22)

тип 1 — прямоугольный с выводами, перпендикулярными плоскости основания и расположенными в пределах проекции тела корпуса на плоскость основания;

тип 2 — прямоугольный с выводами перпендикулярными плоскости основания корпуса и выходящими за пределы проекции тела корпуса на плоскость основания;

тип 3 — круглый с выводами, перпендикулярными основанию корпуса и расположенными в пределах проекции тела корпуса на плоскость основания,

тип 4 — прямоугольный с выводами, расположенными параллельно плоскости основания и выходящими за пределы его тела на плоскость основания;

тип 5 — прямоугольный плоский «безвыводной корпус», электрическое соединение микросхемы, размещенной в таком корпусе, осуществляется с помощью металлизированных контактных площадок по периметру корпуса.

По габаритным и присоединительным размерам сходные по конструкции корпуса подразделяются на типоразмеры.

Шаг выводов для корпуса 1-го и 2-го типов — 2,5 мм (для подтипа 22—1,25 и 2,5 мм); для корпусов 3-го типа — под углом 360°/n; типа 4— 1,25 и 0,625 мм; типа 5—1,25 мм. Выводы могут иметь сечение круглой, квадратной или прямоугольной формы.

Условное обозначение корпуса состоит из шифра типоразмера микросхемы, включающего подтип корпуса и двузначное число, обозначающее порядковый номер типоразмера, цифрового индекса, определяющего действительное число выводов и порядкового регистрационного номера. Например, корпус 2106.16-2 — это прямоугольный корпус подтипа 21, порядковый номер типоразмера 06, с 16 выводами, регистрационный номер два.

Нумерация выводов микросхемы на поверхность корпуса не наносится. Для определения номера вывода пользуются известным правилом отсчета выводов. На корпусе имеется ключ в виде вывода специальной формы или маркировочной метки, обозначающей вывод с номером 1. Отсчет остальных выводов производят от первого вывода против часовой стрелки, если смотреть на микросхему со стороны крышки.

Корпуса микросхем, разработанных до 1980 г и широко применяющихся в настоящее время,

имеют условное обозначение по ГОСТ 17467—72. Пример прежнего обозначения корпуса: 421.48-1. Цифровой индекс 421 — шифр типоразмера корпуса; первая цифра 4 указывает на тип корпуса, две другие цифры — 21 указывают на порядковый номер типоразмера. Второй элемент — цифровой индекс 48 — указывает на число выводов. Третий элемент — цифровой индекс 1 — указывает порядковый регистрационный номер разработки корпуса.

Для надежной работы аппаратуры, смонтированной с использованием микросхем, необходимо строгое соблюдение требований по установке, монтажу и пайке микросхем. Микросхемы необходимо устанавливать на печатных платах на возможно большем удалении от компонентов аппаратуры, выделяющих большое количество тепла, вне магнитных полей постоянных магнитов, трансформаторов и дросселей. Между корпусом микросхемы и монтажной платой должен быть зазор: для микросхем в корпусах со штырьковыми выводами — 1 мм; с планарными выводами — не менее 0,5 мм; микросхему в круглом корпусе необходимо устанавливать на печатную плату с зазором не менее 3,5 мм.

Перед установкой микросхемы на печатную плату необходимо произвести формовку (изгибание) и обрезку выводов микросхемы. Формовку и обжатие выводов следует производить с помощью монтажного инструмента, исключая механические нагрузки на места крепления выводов к корпусу. Радиус изгиба вывода должен быть не менее двойной толщины (диаметра) вывода, а расстояние от корпуса до центра окружности изгиба — не менее 1 мм. Длина выводов после формовки и обрезки при толщине печатной платы 1 мм должна быть 5,4 мм, а при увеличении толщины платы на 0,5; 1 и т. д. длина вывода должна увеличиваться на то же значение.

При распайке выводов микросхемы температура стержня паяльника должна быть не более 280 °С (для корпуса с планарными выводами — не более 265 °С), время касания паяльника к каждому выводу — не более 3 с, минимальное расстояние от тела корпуса микросхемы до границы припоя по длине вывода — 1 мм, интервал времени между пайками соседних выводов — не менее 3 с. Мощность паяльника не более 40 Вт. Жало паяльника должно быть заземлено (переходное сопротивление заземления не более 5 Ом).

Цифровые микросхемы

Классификация цифровых микросхем и их основные параметры. Цифровые микросхемы включают в себя логические и арифметические устройства, триггеры, запоминающие устройства и микропроцессорные комплекты.

В основу классификации цифровых микросхем положены следующие признаки: вид компонентов логической схемы (биполярные, униполярные), способ соединения полупроводниковых приборов в логическую схему и вид связи между логическими схемами.

По этим трем признакам логические микросхемы можно классифицировать следующим образом: РТЛ — схемы, входная логика которых осуществляется на резисторных цепях; РЕТЛ — схемы с резисторно-емкостными связями; ДТЛ — схемы, входная логика которых осуществляется на диодах; ТТЛ и ТТЛШ — схемы, входная логика которых выполняется многоэмиттерным транзистором; ЭСЛ — схемы со связанными эмиттерами; НСТЛМ — схемы с непосредственными связями на МОП-структурах, $И^2Л$ — схемы с совмещенными транзисторами (интегрально-инжекционные логические).

РТЛ, РЕТЛ и ДТЛ — схемы первого поколения микросхем низкочастотные с малой степенью интеграции постепенно снимаются с производства, появившиеся в последние годы схемы $И^2Л$ (серия К583 и др.), наоборот, завоевывают все более прочные позиции как наиболее перспективные биполярные схемы для БИС.

В основном цифровые микросхемы относятся к потенциальным схемам: сигнал на их входе и выходе представляется высоким и низким уровнями напряжений. Этим двум состояниям сигнала ставятся в соответствие логические значения «1» и «0» Большинство цифровых микросхем представляет собой логические элементы, выполняющие функции НЕ, И — НЕ, ИЛИ — НЕ, И — ИЛИ — НЕ и др. Это так называемые базовые функциональные элементы. Их основные электрические параметры определяют характеристики практически всех цифровых микросхем, входящих в состав серии. К числу электрических параметров, которые достаточно полно характеризуют эти микросхемы различных серий и позволяют сравнивать их между собой, относятся: напряжение питания и логические уровни, потребляемая мощность и помехоустойчивость, нагрузочная способность и быстродействие. В табл. 3.100 приведены основные электрические параметры широко используемых в настоящее время цифровых микросхем серий ТТЛ, ТТЛШ и КМОП типов. Из данной таблицы следует, что основным преимуществом для ТТЛ и ТТЛШ серий является высокое быстродействие, а для КМОП серий — малая потребляемая мощность.

Микросхемы серий К155 и 133. Представляют собой комплекс полупроводниковых логических схем, выполненных на основе ТТЛ по планарно-эпитаксиальной технологии. Предназначены для построения узлов ЭВМ и устройств дискретной автоматики среднего быстродействия (до 10 МГц). Напряжение питания микросхем для серии К155 +5 В ± 5 %, для серии 133 +5 В ± ± 10 %, допустимый уровень пульсаций не более 50 мВ. Минимальное напряжение логической 1 на выходе микросхемы не менее 2,4 В. Максимальное напряжение логического 0 — не более 0,4 В. Для нормальной работы микросхемы время нарастания и спада входных импульсов должно быть не более 150 нс (кроме схем с открытым коллекторным выходом, для которых это время не ограничивается).

При монтаже аппаратуры для повышения устойчивости работы микросхем их свободные входы должны быть подключены к источнику питания микросхемы через резистор с сопротивлением 1 кОм. К одному резистору допускается подключение не более 20 свободных входов. Для исключения низкочастотных помех необходимо

Таблица 3.100. **Электрические параметры микросхем ТТЛ, ТТЛШ и КМОП структуры**

Технология	Серия	Напряжение питания	Ток потребления, мА, не более, в состоянии		Задержка, нс, не более	
			«0»	«1»	включения	выключения
ТТЛ	К155	+5 В±5 %	20	10	15	22
	К133	+5 В±10 %				
	К131	+5 В±5 %	44	20	10	10
	130	+5 В±10 %				
	134	+5 В±10 %	2,5	0,7	70	70
ТТЛШ	К531	+5 В±5 %	36	16	5	4,5
	530	+5 В±10 %				
	К555	+5 В±5 %	4,4	1,6	20	20
	533	+5 В±10 %				
КМОП	К176	+9 В±5 %				
	164	+9 В±10 %	$2\cdot10^{-4}$	$2\cdot10^{-4}$	200	200
	К561	+3...15 В				
	564		10^{-4}	10^{-4}	80	80

Таблица 3.101. **Функциональный состав серий К155 и 133**

Функциональное назначение	Обозначение	Обозначение корпуса	
		К155	133
Два логических элемента 4И — НЕ	ЛА1	201.14-1	401.14-4
Логический элемент 8И — НЕ	ЛА2	201.14-1	401.14-4
Четыре логических элемента 2И — НЕ	ЛА3	201.14-1	401.14-4
Три логических элемента 3И — НЕ	ЛА4	201.14-1	401.14-4
Два логических элемента 4И — НЕ с большим коэффициентом разветвления по выходу	ЛА6	201.14-1	401.14-4
Два логических элемента 4И — НЕ с открытым коллекторным выходом	ЛА7	201.14-1	401.14-4
Четыре логических элемента 2И — НЕ с открытым коллекторным выходом	ЛА8	201.14-1	401.14-4
Три логических элемента 3И — НЕ с открытым коллекторным выходом	ЛА10	201.14-1	401.14-4
Четыре высоковольтных логических элемента 2И — НЕ с открытым коллекторным выходом	ЛА11	201.14-2	401.14-5
Четыре логических элемента 2И — НЕ с высокой нагрузочной способностью	ЛА12	201.14-2	402.16-6
Четыре логических элемента 2И — НЕ с открытым коллекторным выходом и повышенной нагрузочной способностью	ЛА13	201.14-2	—
Два логических элемента 2И — НЕ с мощным открытым коллекторным выходом	ЛА18	2101.8-1	—
Два четырехвходовых логических расширителя по ИЛИ	ЛД1	201.14-1	401.14-4
Восьмивходовый расширитель по ИЛИ	ЛД3	201.14-1	401.14-4
Четыре логических элемента 2ИЛИ — НЕ	ЛЕ1	201.14.1	401.14-4
Два логических элемента 4НЕ — ИЛИ со стробирующим импульсом и расширяющими узлами	ЛЕ2	238.16-1	—
Два логических элемента 4ИЛИ — НЕ со стробированием	ЛЕ3	201.14-1	—
Три логических элемента 3ИЛИ — НЕ	ЛЕ4	201.14-1	—
Четыре логических элемента 2ИЛИ — НЕ, буферное устройство	ЛЕ5	201.14-1	402.16-6
Четыре логических элемента 2ИЛИ — НЕ, магистральный усилитель	ЛЕ6	201.14-1	402.16-6
Четыре логических элемента 2И	ЛИ1	201.14-1	401.14-4
Два логических элемента 2И с транзистором и открытым коллекторным выходом	ЛИ5	201.14-1	401.14-4
Четыре логических элемента 2ИЛИ	ЛЛ1	201.14-1	401.14-4
Два логических элемента 2ИЛИ с мощным открытым коллекторным выходом	ЛЛ2	2101.8-1	—

Продолжение табл. 3.101

Функциональное назначение	Обозначение	Обозначение корпуса	
		К155	133
Шесть логических элементов НЕ	ЛН1	201.14-1	401.14-4
Шесть логических элементов НЕ с открытым коллекторным выходом	ЛН2	201.14-1	401.14-4
Шесть буферных инверторов с повышенным коллекторным напряжением	ЛН3	201.14-1	402.16-6
Шесть буферных инверторов	ЛН5	201.14-4	402.16-6
Шесть инверторов с элементом управления по входам и тремя состояниями на выходе	ЛН6	238.16-2	—
Четыре двух входовых логических элемента «Исключающее ИЛИ»	ЛП5	201.14-1	401.14-4
Два логических элемента 2И — НЕ с общим входом и двумя мощными транзисторами	ЛП7	201.14-1	401.14-4
Шесть буферных формирователей с открытым коллектором и повышенным коллекторным напряжением	ЛП9	201.14-2	401.14-4
Шесть повторителей с элементом управления по входам и тремя состояниями на выходе	ЛП10	238.16-2	—
Шесть повторителей с раздельными элементами управления входами по двум и четырем повторителям и тремя состояниями на выходе	ЛП11	238.16-2	—
Два логических элемента 2 — 2И — 2ИЛИ — НЕ, один расширяемый по ИЛИ	ЛР1	201.14-1	401.14-4
Логический элемент 2—2—2—3И — 4ИЛИ — НЕ с возможностью расширения по ИЛИ	ЛР3	201.14-1	401.14-4
Логический элемент 4 — 4И — 2ИЛИ — НЕ с возможностью расширения по ИЛИ	ЛР4	201.14-1	401.14-4
Триггер JK-типа с логикой на входе 3И	ТВ1	201.14-1	401.14-4
Два триггера JK-типа	ТВ15	238.16-1	402.16-21
Два триггера D-типа	ТМ2	201.14-1	401.14-4
Четыре триггера D-типа	ТМ5	238.16-2	402.16-6
Четыре триггера D-типа с прямыми и инверсными выходами	ТМ7	238.16-2	402.16-6
Счетверенный триггер D-типа	ТМ8	238.16-1	—
Два триггера Шмитта с логическим элементом 4И — НЕ на входе	ТЛ1	201.14-1	401.14-4
Шесть триггеров Шмитта с инвертором	ТЛ2	201.14-2	—
Четыре двухвходовых триггера Шмитта	ТЛ3	201.14-2	—
Двоично-десятичный дешифратор с высоковольтным выходом	ИД1	238.16-1	402.16-6
Дешифратор-демультиплексор 4 линии на 16 (преобразование двоично-десятичного кода в десятичный)	ИД3	239.24-2	405.24-1
Двоично-десятичный дешифратор	ИД10	238.16-1	402.16-16
Двоично-десятичный 4-разрядный счетчик	ИЕ2	201.14-1	401.14-4
Счетчик-делитель на 12	ИЕ4	201.14-1	401.14-4
Двоичный счетчик	ИЕ5	201.14-1	401.14-4
Двоично-десятичный реверсивный счетчик	ИЕ6	238.16-2	402.16-6
4-разрядный двоичный реверсивный счетчик	ИЕ7	238.16-2	402.16-6
Делитель частоты с переменным коэффициентом деления	ИЕ8	238.16-2	402.16-6
Синхронный десятичный счетчик	ИЕ9	238.16-2	—
Одноразрядный полный сумматор	ИМ1	201.14-1	401.14-4
2-разрядный двоичный полный сумматор	ИМ2	201.14-1	401.14-4
4-разрядный двоичный сумматор	ИМ3	238.16-2	402.16-6
Арифметико-логическое устройство	ИП3	239.24-2	405.24-2
4-разрядный универсальный сдвигающий регистр	ИР1	201.14-1	401.14-4
8-разрядный реверсивный сдвигающий регистр	ИР13	239.24-2	405.24-1
12-разрядный регистр последовательного приближения	ИР17	239.24-2	405.24-2
Программируемое постоянное запоминающее устройство с емкостью 256 бит (32×2)	РЕ3	238.16-2	—
ПЗУ на 1024 бит с использованием в качестве преобразователя двоичного кода в код знаков русского алфавита	РЕ21	238.16-2	—
ПЗУ на 1024 бит с использованием в качестве преобразователя двоичного кода в код знаков латинского алфавита	РЕ22	238.16-2	—

Окончание табл. 3.101.

Функциональное назначение	Обозначение	Обозначение корпуса	
		К155	133
ПЗУ на 1024 бит с использованием в качестве преобразователя двоичного кода в код знаков арифметических знаков и цифр	РЕ23	238.16-2	—
ПЗУ на 1024 бит с использованием в качестве преобразователя двоичного кода в код дополнительных знаков	РЕ24	238.16-2	—
ОЗУ на 16 бит (16×1) со схемами управления	РУ1	201.14-2	401.14-4
ОЗУ на 256 бит (256×1) со схемами управления	РУ5	238.16-2	402.16-18
ОЗУ на 1024 бит (1024×1) со схемами управления	РУ7	238.16-2	—
Одновибратор с логическим элементом на входе	АГ1	201.14-1	401.14-4
Сдвоенный одновибратор с повторным запуском	АГ3	238.16-1	402.16-16
Преобразователь сигналов двоичного кода 8-4-2-1 в семисегментный код	ПП5	201.14-1	—

предусмотреть установку и подключение к шинам питания на плате оксидных конденсаторов (из расчета не менее 0,1 мкФ на один корпус микросхемы). Для исключения высокочастотных помех керамические конденсаторы (емкость не менее 2000 пФ на один корпус микросхемы) рекомендуется размещать на площади печатной платы из расчета один конденсатор на группу не более десяти корпусов микросхем.

Микросхемы серий К155 и 133 идентичны по электрическим параметрам и выполняемым функциям (табл. 3.101), имеют аналогичные обозначения и различаются типом корпуса и некоторыми эксплуатационными характеристиками.

Микросхемы серии К155 имеют прямоугольный пластмассовый корпус с выводами, перпендикулярными установочной плоскости, а микросхемы серии 133 — прямоугольный металлостеклянный и металлокерамический корпус с планарными выводами (табл. 3.101, рис. 3.23—3.42). Условные графические обозначения функциональных схем серий К155 и 133 приведены на рис. 3.43.

Напряжение питания на микросхемы, имеющие восемь выводов, подается на выводы 8 (плюс) и 4 (общий), имеющие 14 выводов — на выводы 14 (плюс) и 7 (общий), имеющие 16 выводов — на выводы 16 (плюс) и 8 (общий), имеющие 24 вывода — на выводы 24 (плюс) и 12 (общий); за исключением: К155ТМ5, 133ТМ5, К155ИМ2, 133ИМ2 — плюс на вывод 4, общий на вывод 11: К155ТМ7, 133ТМ7, К155ИД1, 133ИД1, К155ИМ3, 133ИМ3 — плюс на вывод 5, общий на вывод 12; К155ИЕ2, 133ИЕ2, К155ИЕ4, 133ИЕ4, К155ИЕ5, 133ИЕ5 — плюс на вывод 5 общий на вывод 10; К155РУ1, 133РУ1 — плюс на вывод 4, общий на вывод 10.

Микросхемы серий К561 и 564. Представляют собой комплекс микромощных микросхем, второй — третьей степени интеграции на КМОП транзисторах. Предназначены для применения в аппаратуре цифровой автоматики и вычислительной техники с жесткими требованиями по потребляемой мощности, массе, габаритным размерам в условиях значительного изменения напряжения питания при работе от одного источника. Диапазон напряжений питания микросхем от 3 до 15 В, допустимый уровень пульсаций не более 0,2 В. Минимальное напряжение логической 1 на входе микросхемы: 3,6 В при напряжении питания 5 В и 7,1 В — при 10 В. Максимальное напряжение логического 0 на входе микросхемы: 1,4 В при напряжении питания 5 В и 2,9 В — при 10 В. Для нормальной работы микросхемы длительность фронтов входных импульсов должна быть не более 10; 5 и 1 мкс при напряжениях питания 5; 10 и 15 В соответственно. Выбор емкости конденсаторов, подключаемых к шинам питания платы с микросхемами производить из расчета: для оксидных конденсаторов — не менее 0,03 мкФ на один корпус микросхемы, для высокочастотных конденсаторов — не менее 1400 пФ на один корпус микросхемы.

Микросхемы серий К561 и 564 идентичны по электрическим параметрам и выполняемым функциям (табл. 3.102), имеют аналогичные обозначения и различаются типом корпуса и некоторыми эксплуатационными характеристиками.

Микросхемы серии К561 имеют прямоугольный пластмассовый и металлостеклянный корпус с выводами, перпендикулярными установочной плоскости, а микросхемы серии 564 — металлостеклянный и металлокерамический корпус с планарными выводами (рис. 3.23—3.42). Условные графические обозначения функциональных схем серий К561 и 564 приведены на рис. 3.44.

Напряжение питания на микросхемы, имеющие 14 выводов, подается на выводы 14 (плюс) и 7 (общий), имеющие 16 выводов — на выводы 16 (плюс) и 8 (общий), имеющие 24 вывода — на выводы 24 (плюс) и 12 (общий) за исключением микросхемы К561ПУ4 и 564ПУ4 — плюс на вывод 1, общий на вывод 8.

Аналоговые микросхемы

В интегральном исполнении выпускаются самые различные по назначению и функциональным возможностям аналоговые микросхемы: генераторы и детекторы, модуляторы и преоб-

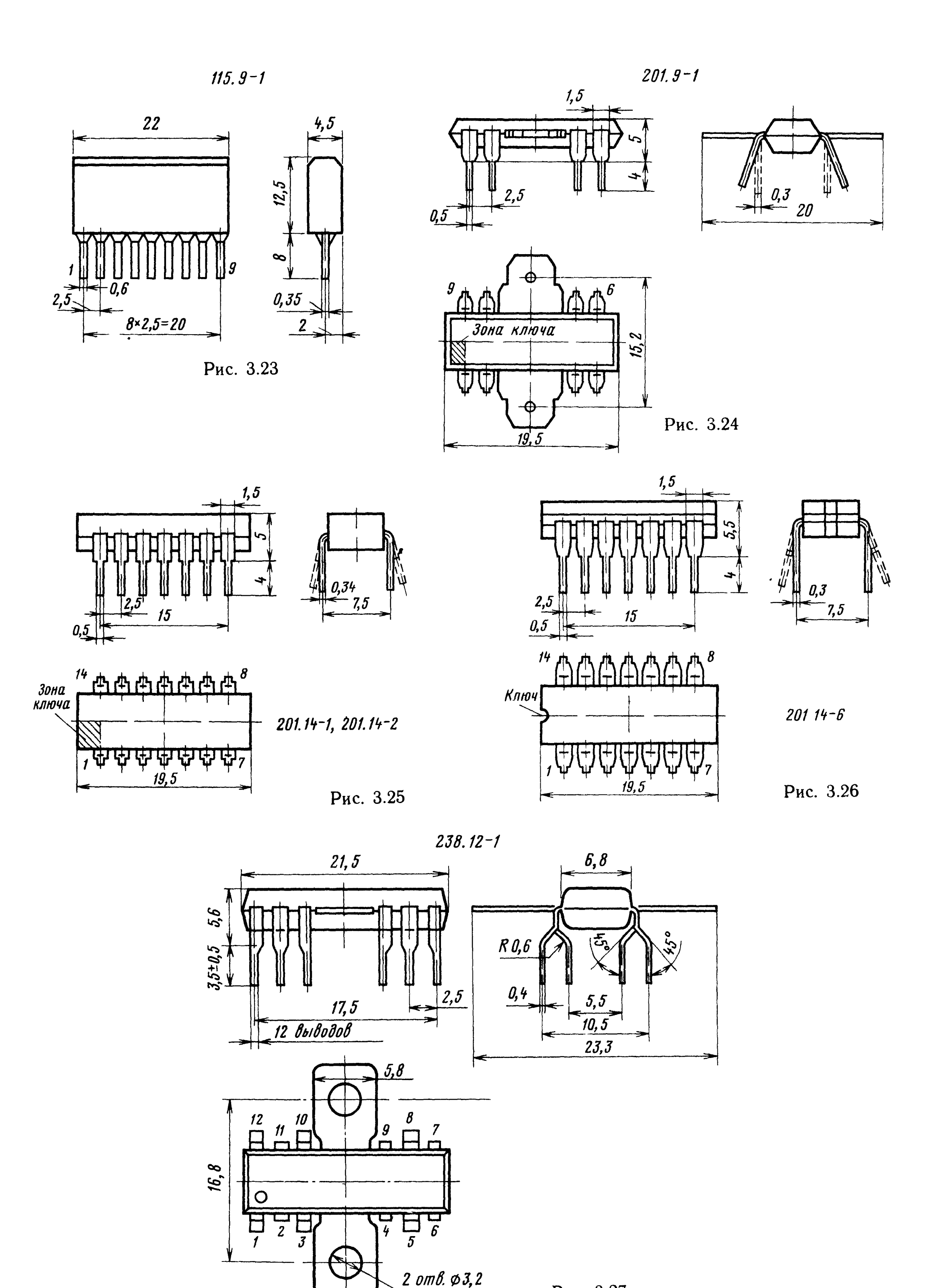


Рис. 3.23

Рис. 3.24

Рис. 3.25

Рис. 3.26

Рис. 3.27

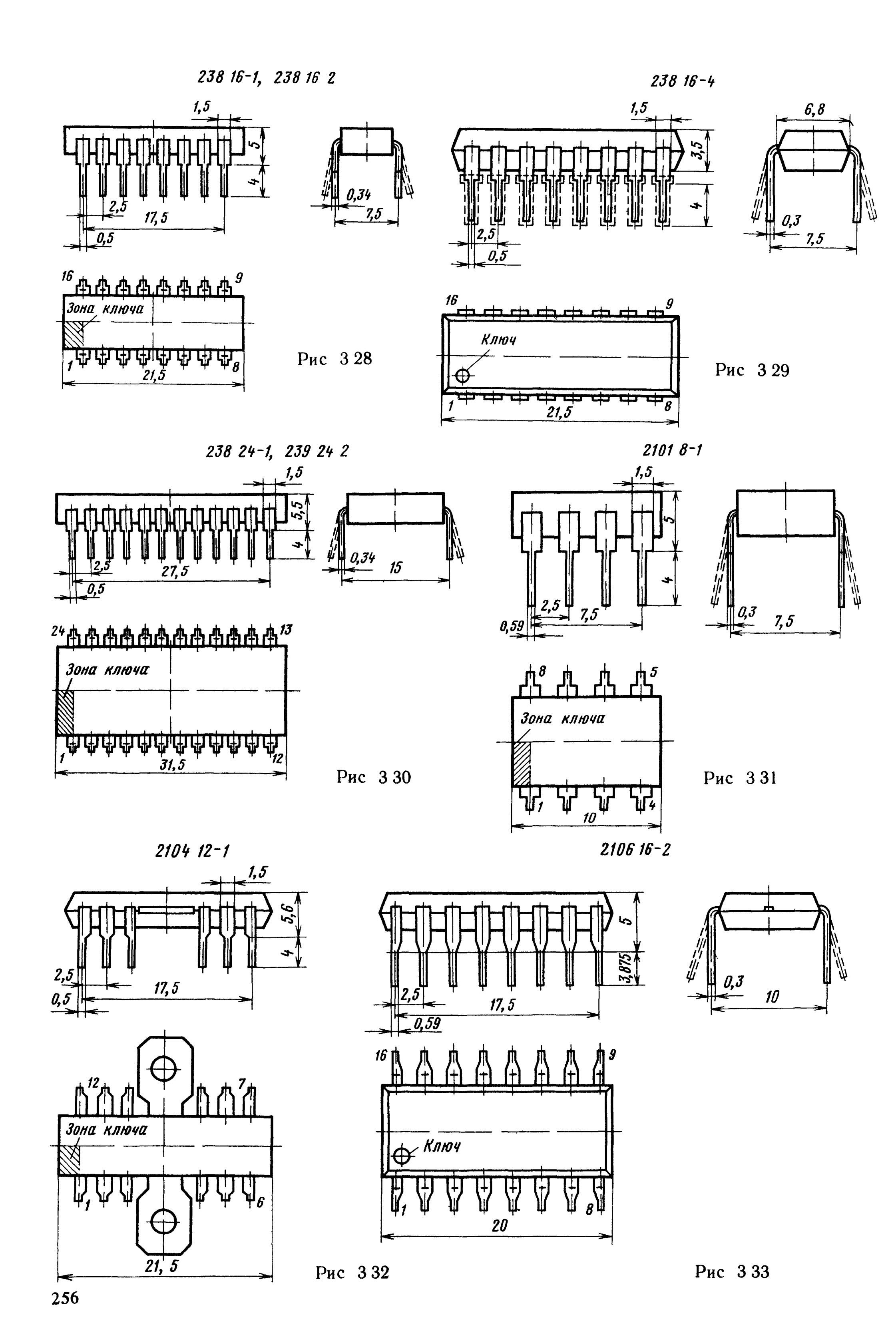


Рис 3 28

Рис 3 29

Рис 3 30

Рис 3 31

Рис 3 32

Рис 3 33

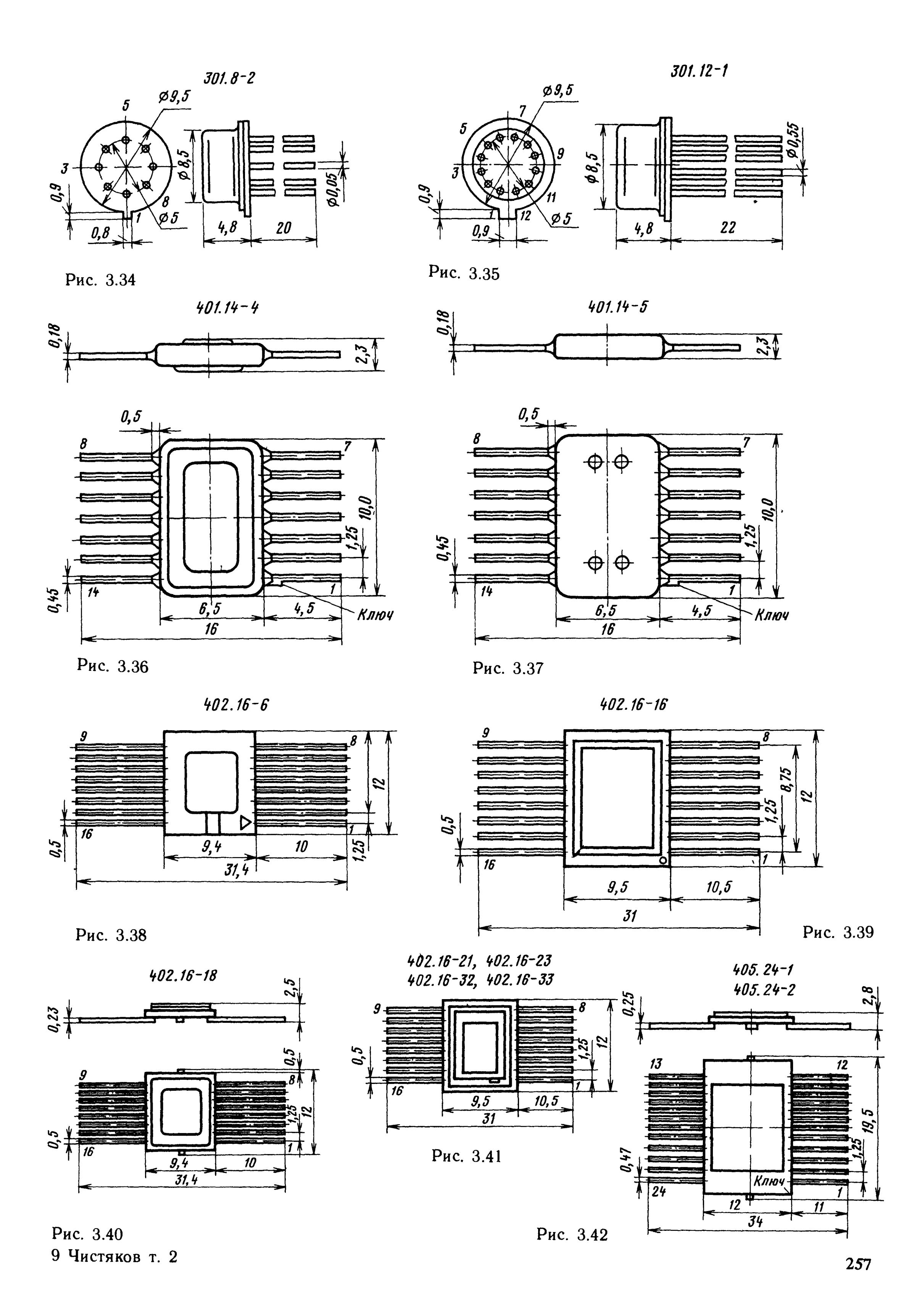


Рис. 3.34

Рис. 3.35

Рис. 3.36

Рис. 3.37

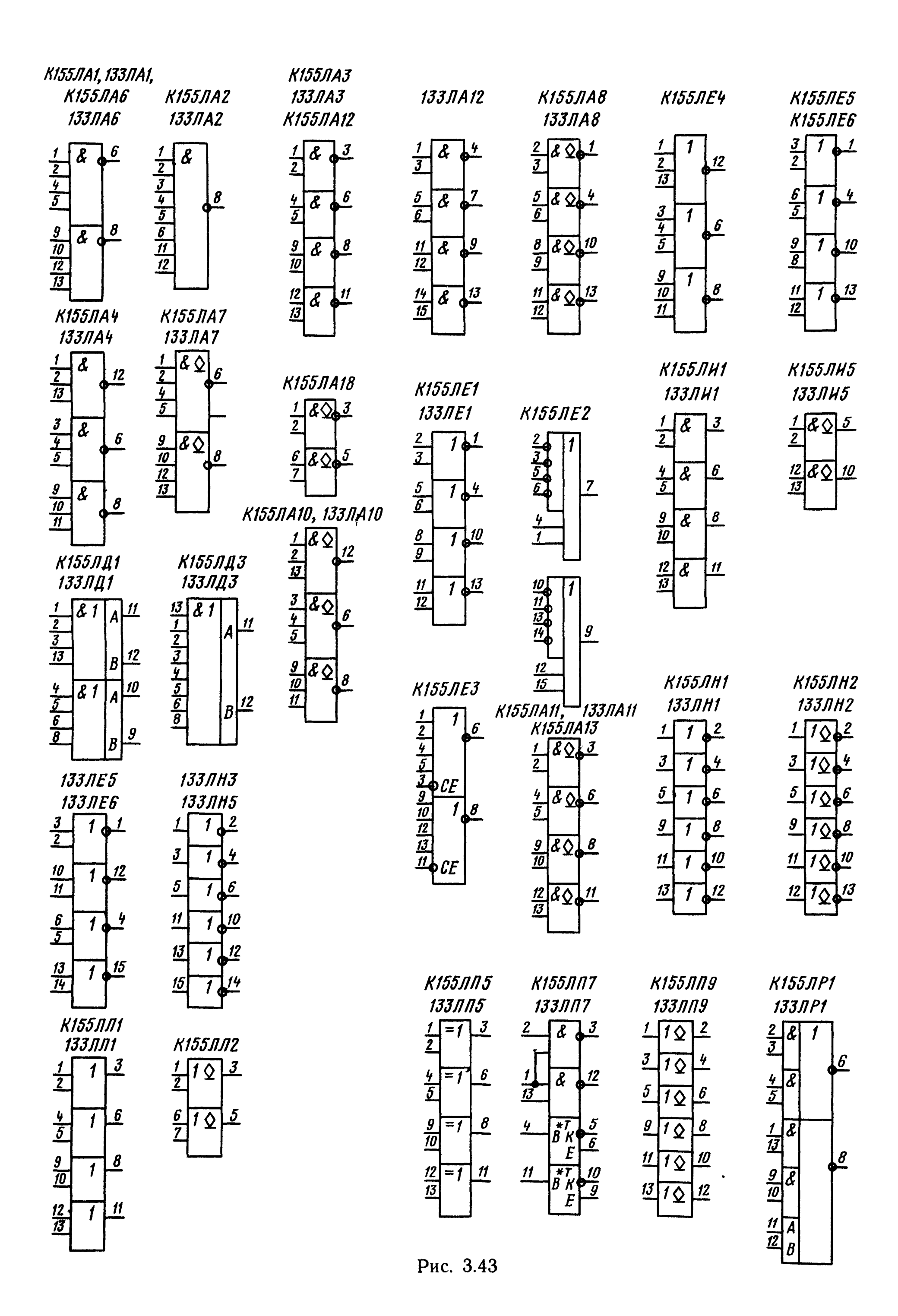
Рис. 3.38

Рис. 3.39

Рис. 3.40

Рис. 3.41

Рис. 3.42


К155ЛА1, 133ЛА1,
К155ЛА6
133ЛА6
К155ЛА2
133ЛА2
К155ЛА3
133ЛА3
К155ЛА12
133ЛА12
К155ЛА8
133ЛА8
К155ЛЕ4
К155ЛЕ5
К155ЛЕ6
К155ЛА4
133ЛА4
К155ЛА7
133ЛА7
К155ЛА18
К155ЛЕ1
133ЛЕ1
К155ЛЕ2
К155ЛИ1
133ЛИ1
К155ЛИ5
133ЛИ5
К155ЛА10, 133ЛА10
К155ЛД1
133ЛД1
К155ЛД3
133ЛД3
К155ЛЕ3
К155ЛА11, 133ЛА11
К155ЛА13
К155ЛН1
133ЛН1
К155ЛН2
133ЛН2
133ЛЕ5
133ЛЕ6
133ЛН3
133ЛН5
К155ЛЛ1
133ЛЛ1
К155ЛЛ2
К155ЛП5
133ЛП5
К155ЛП7
133ЛП7
К155ЛП9
133ЛП9
К155ЛР1
133ЛР1
Рис. 3.43

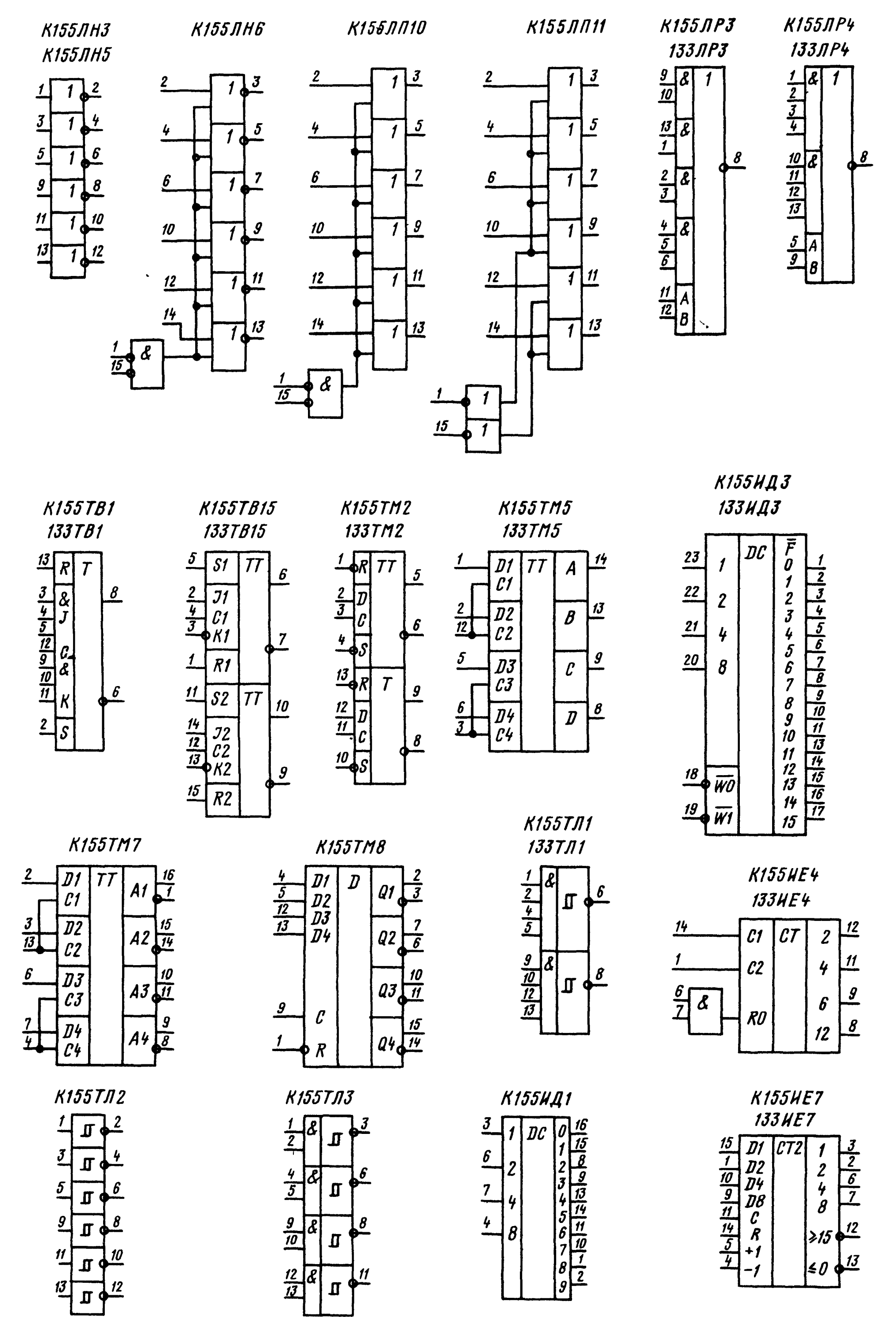


Рис 3.43. (Продолжение.)

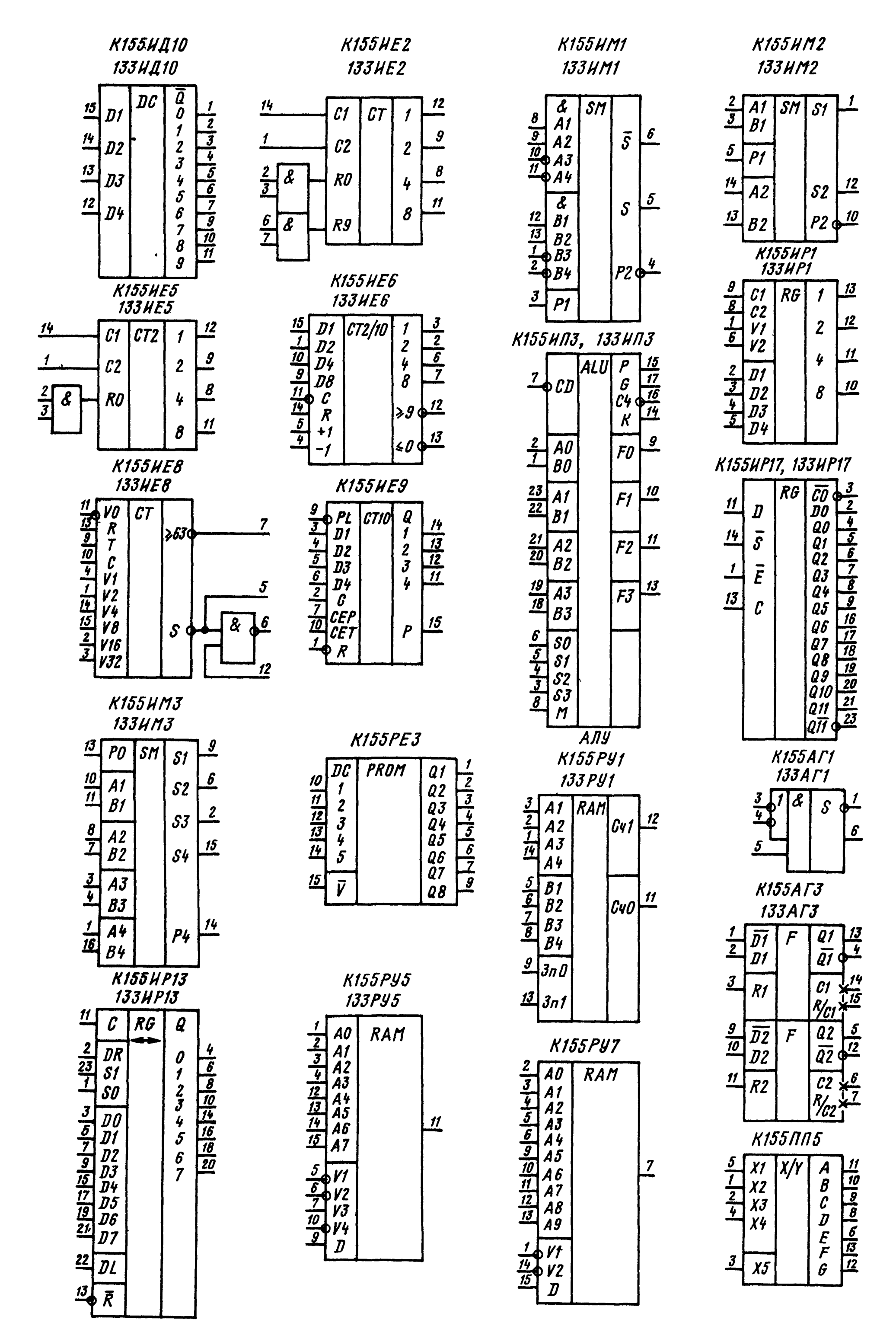


Рис. 3.43. (Окончание.)

Таблица 3.102. **Функциональный состав серий К561 и 564**

Функциональное назначение	Обозначение	Обозначение корпуса	
		К561	564
Четыре логических элемента 2И — НЕ	ЛА7	201.14-1	401.14-5
Два логических элемента 4И — НЕ	ЛА8	201.14-1	401.14-5
Три логических элемента 3И — НЕ	ЛА9	201.14-1	401.14-5
Четыре логических элемента 2ИЛИ — НЕ	ЛЕ5	201.14-1	401.14-5
Два логических элемента 4ИЛИ — НЕ	ЛЕ6	201.14-1	401.14-5
Три логических элемента 3ИЛИ — НЕ	ЛЕ10	201.14-1	401.14-5
Шесть логических элементов НЕ с блокировкой и запретом, с тремя состояниями на выходе	ЛН1	238.16-1	402.16-32
Шесть логических элементов НЕ	ЛН2	201.14-1	401.14-5
Четыре логических элемента И — ИЛИ	ЛС2	238.16-1	402.16-32
Четыре логических элемента «Исключающее ИЛИ»	ЛП2	201.14-1	401.14-5
Три трехвходовых мажоритарных элемента	ЛП13	201.14-1	401.14-5
Два триггера JK-типа	ТВ1	238.16-1	402.16-32
Два триггера D-типа	ТМ2	201.14-1	401.14-5
Четыре триггера D-типа	ТМ3	238.16-1	402.16-32
Счетверенный триггер RS-типа с тремя состояниями на выходе	ТР2	238.16-1	402.16-32
Шесть преобразователей уровня	ПУ4	238.16-1	402.16-32
Четыре двунаправленных переключателя	КТ3	201.14-1	401.14-5
Счетчик-делитель на 8	ИЕ9	238.16-1	402.16-32
Два 4-разрядных двоичных счетчика	ИЕ10	238.16-1	402.16-32
4-разрядный двоичный реверсивный счетчик	ИЕ11	238.16-1	402.16-23
4-разрядный двоичный сумматор	ИМ1	238.16-1	402.16-23
Схема сравнения двух 4-разрядных чисел	ИП2	238.16-1	402.16-32
8-разрядный универсальный сдвигающий регистр	ИР6	239.24-1	405.24-2
4-разрядный последовательно-параллельный регистр	ИР9	238.16-1	402.16-23
Многоцелевой регистр 8×4 бит	ИР11	239.24-1	405.24-2
Многоцелевой регистр 4×4 бит	ИР12	239.24-1	405.24-2
Двойной 4-канальный мультиплексор	КП1	238.16-1	402.16-23
ОЗУ статическое 256×1 бит со схемой управления	РУ2А, Б	2106.16-2	4112.16-1
12-разрядная схема сравнения	СА1	238.16-1	402.16-33

разователи, стабилизаторы напряжений и тока, операционные усилители и др. Аналоговые микросхемы находят широкое применение в аналоговых вычислительных машинах, аппаратуре преобразования аналоговой и цифровой информации, аппаратуре связи, телевидения и телеуправления, системах контроля и измерительных приборах. Применение аналоговых микросхем всегда специфично. Серии микросхем существенно различаются по областям преимущественного применения, функциональному составу и числу входящих в серию микросхем.

Микросхемы серий К174 и К224. Предназначены для использования в радиовещательных приемниках, телевизорах, магнитофонах, электрофонах; могут применяться при построении различных узлов радиоэлектронной аппаратуры. Микросхемы серии К224 выполнены в прямоугольном пластмассовом корпусе типа 115.9-1 (рис. 3.23).

Микросхема К174УН4 представляет собой УМ низкой частоты с номинальной выходной мощностью 1 Вт при нагрузке 4 Ом. Типовая схема включения микросхемы приведена на рис. 3.45.

Номинальное напряжение питания 9 В $^{+10\ \%}_{-40\ \%}$; ток потребления не более 10 мА; полоса пропускания 30...20 000 Гц; коэффициент гармоник для К174УН4А при выходной мощности 1 Вт и для К174УН4Б при выходной мощности 0,7 Вт не более 2 %; коэффициент усиления по напряжению 4...40; входное сопротивление не менее 10 кОм. Регулировку коэффициента усиления на низких частотах можно осуществлять изменением емкости конденсаторов С2, С5, а во всей полосе пропускания изменением глубины ООС регулировкой сопротивления резистора R1 и емкости конденсатора С2. Микросхема выполнена в корпусе 201.9-1 (рис. 3.24).

Микросхема К174УН7 (рис. 3.46) представляет собой УМ низкой частоты с номинальной выходной мощностью 4,5 Вт при нагрузке 4 Ом. Полоса пропускания по уровню 3 дБ 40... 20 000 Гц; коэффициент гармоник не более 10 %; входное сопротивление не менее 50 кОм; ток потребления при отсутствии сигнала не более 20 мА; номинальное напряжение питания 15 В ± ±10 %. При мощности нагрузки более 0,27 Вт обязательно применение дополнительного теплоотвода. Микросхема выполнена в корпусе 238.12-1 (рис. 3.27).

Микросхема К174УН9 (рис. 3.47) представляет собой УМ низкой частоты с номинальной выходной мощностью 5 Вт при нагрузке 4 Ом.

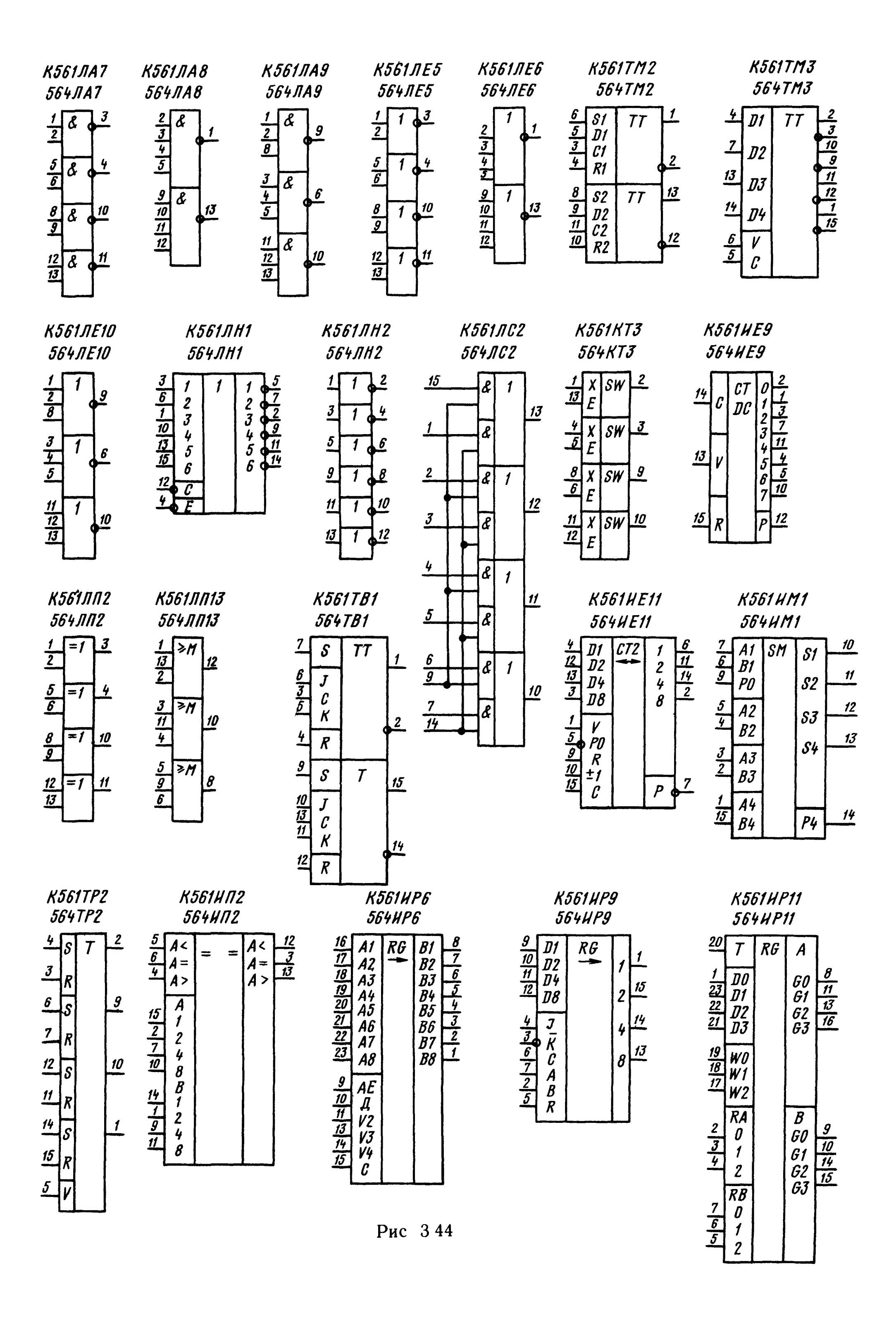

К561ЛА7
564ЛА7
К561ЛА8
564ЛА8
К561ЛА9
564ЛА9
К561ЛЕ5
564ЛЕ5
К561ЛЕ6
564ЛЕ6
К561ТМ2
564ТМ2
К561ТМ3
564ТМ3
К561ЛЕ10
564ЛЕ10
К561ЛН1
564ЛН1
К561ЛН2
564ЛН2
К561ЛС2
564ЛС2
К561КТ3
564КТ3
К561ИЕ9
564ИЕ9
К561ЛП2
564ЛП2
К561ЛП13
564ЛП13
К561ТВ1
564ТВ1
К561ИЕ11
564ИЕ11
К561ИМ1
564ИМ1
К561ТР2
564ТР2
К561ИП2
564ИП2
К561ИР6
564ИР6
К561ИР9
564ИР9
К561ИР11
564ИР11

Рис 3 44

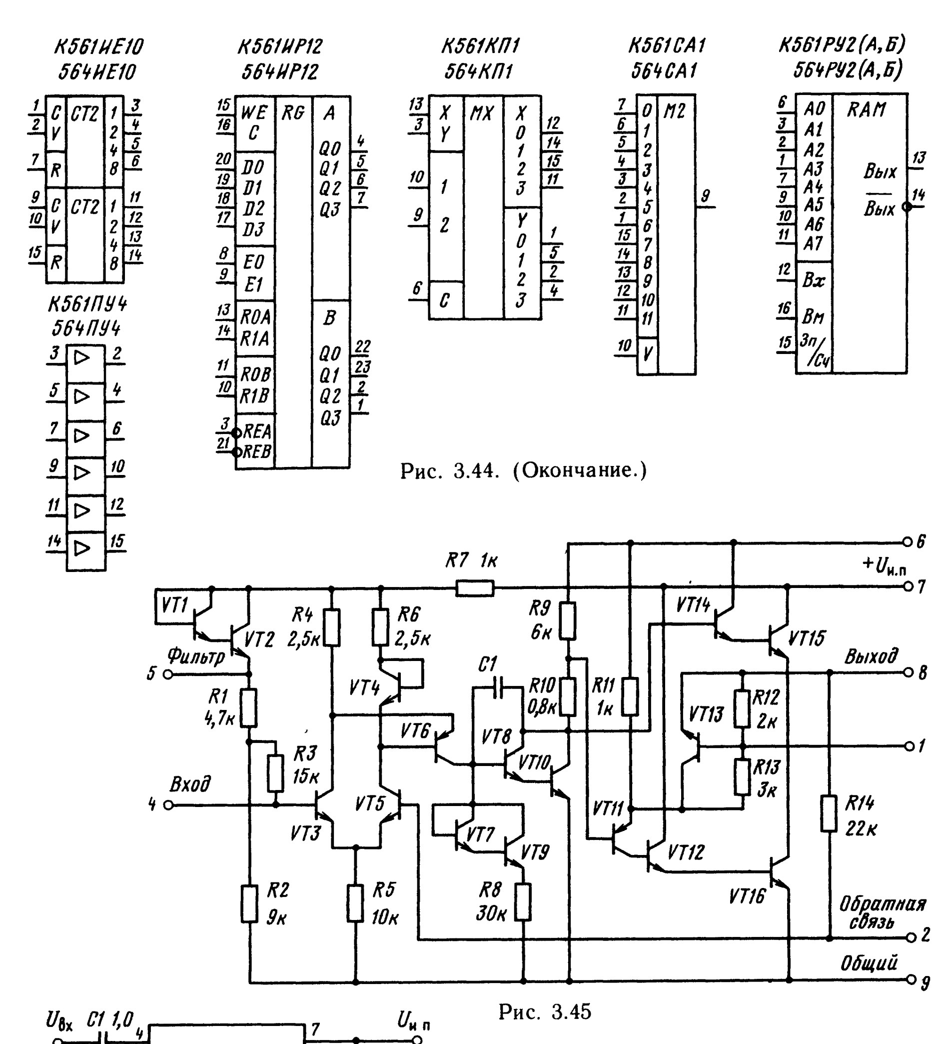


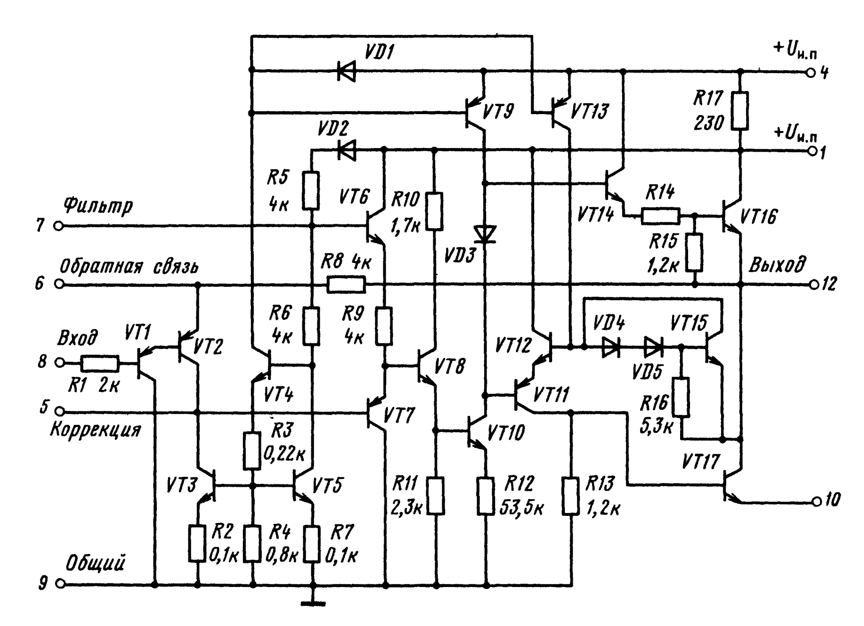
Рис. 3.44. (Окончание.)

Рис. 3.45

Микросхема имеет защиту от коротких замыканий в цепи нагрузки и перегрузок по току. В зависимости от коэффициента гармоник и полосы пропускания микросхемы делятся на группы А и Б. Частотный диапазон 40...20 000 Гц (А) и 40...16 000 Гц (Б). Коэффициент гармоник не более 1 % (А), 2 % (Б). Входное сопротивление не менее 100 кОм; ток потребления при отсутствии входного сигнала не более 30 мА; номинальное напряжение питания 18 В ± 10 %; минимальное напряжение питания 5,4 В.

Эксплуатация микросхемы без дополнительного теплоотвода не допускается. Микросхема выполнена в корпусе 238.12-1 или 2104.12-1 (рис. 3.27 и 3.32).

Микросхема К174УН10 предназначена для использования в звуковоспроизводящей и приемо-усилительной аппаратуре 1-го и 2-го классов в качестве электронного двухканального регулятора тембра высоких и низких частот. Типовая схема включения микросхемы приведена на рис. 3.48. (1 — преобразователи напряжения, 2 — управляемые напряжением усилители). Сопротивление нагрузки не менее 5 кОм; входное сопротивление не менее 15 кОм; коэффициент гармоник не более 0,2 % для К174УН10А и 0,5 % для К174УН10Б; глубина регулировки тембра на частотах 40 Гц и 16 кГц не менее ±15 дБ; переходное затухание между каналами (на частотах 1 и 12,5 кГц) не менее 56 дБ; номинальное напряжение питания 15 В ± 10 %; потребляемый ток не более 40 мА. Микросхема выполнена в корпусе 238.16-2 (рис. 3.28).



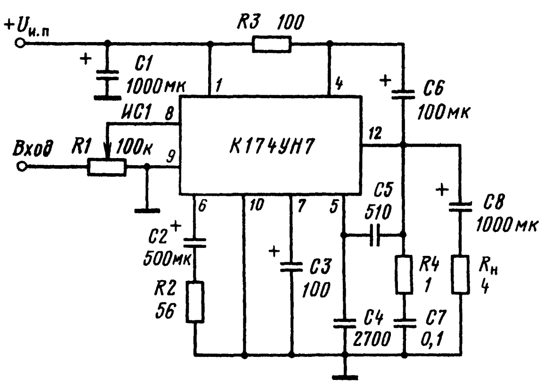
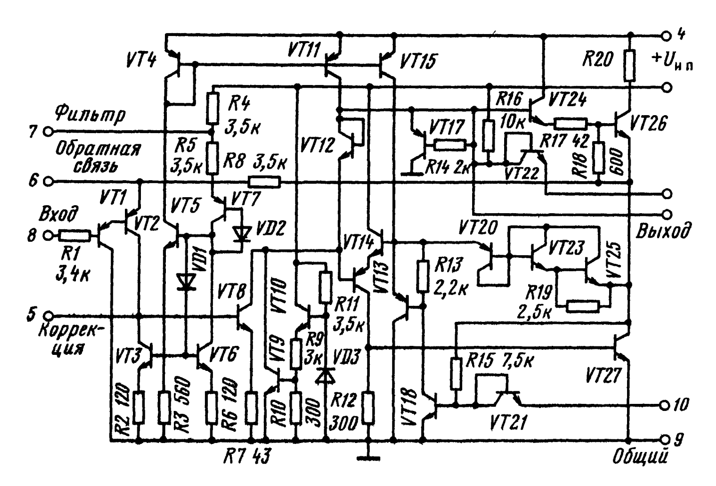


Рис. 3.46

Микросхема К174УН11 (рис. 3.49) представляет собой УМ низкой частоты с выходной мощностью до 15 Вт. Номинальное сопротивление нагрузки 4 Ом. Диапазон рабочих частот 80... 20 000 Гц. Коэффициент гармоник не более 1 %; диапазон напряжения питания ±5...17 В; выходная мощность при напряжениях питания ±15; ±10, ±8 В не менее 12, 10 и 3 Вт соответственно. Потребляемый ток при отсутствии сигнала не более 100 мА. Входное сопротивление не менее 100 кОм; чувствительность (при выходной мощности 10 Вт) не менее 250 мВ. Микросхема выполнена в корпусе 201.14-2 (рис. 3.25).

Микросхема К174УН12 предназначена для электронной регулировки громкости и баланса между каналами в стереофонической аппаратуре. Типовая схема включения микросхемы при-



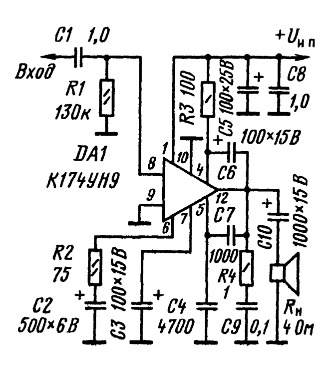


Рис. 3.47

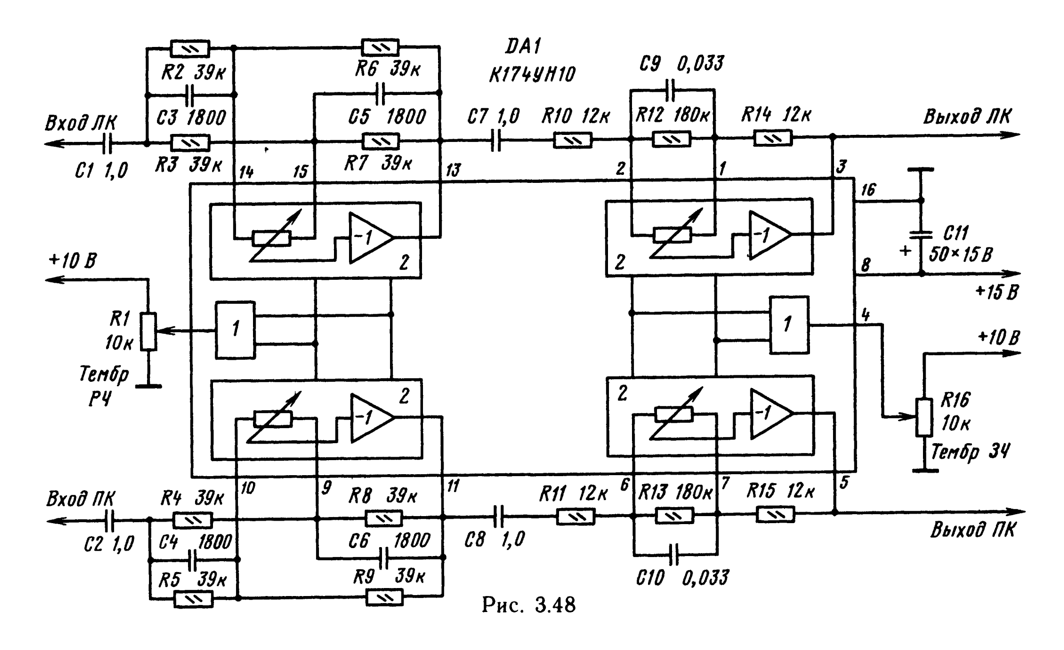


Рис. 3.48

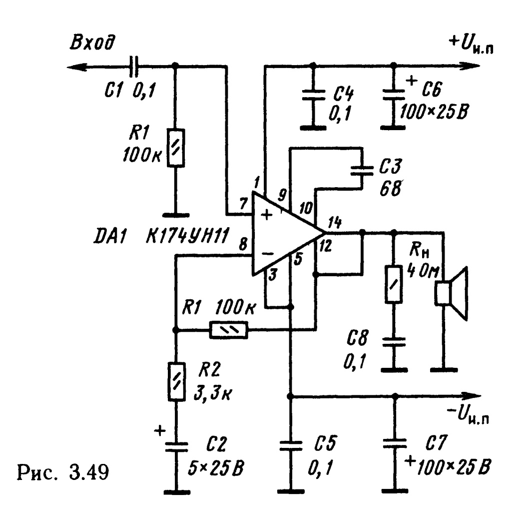


Рис. 3.49

ведена на рис. 3.50, где 1 — преобразователь напряжения; 2 — управляемые напряжением усилители. Положения 1, 2, 3 переключателя S1 означают соответственно: отключение тонкоррекции, стандартная тонкоррекция, возможность подбора оптимальной тонкоррекции. Номинальное напряжение питания 15 В, потребляемый ток не более 40 мА, коэффициент гармоник не более 0,5 %, диапазон регулировки громкости не менее 77 дБ, диапазон регулировки баланса каналов не менее ±6 дБ, рабочий диапазон частот 20...20 000 Гц. Сопротивление нагрузки не менее 15 кОм. Микросхема выполнена в корпусе 238.16-2 (рис. 3.28).

Микросхема К174УР1 (рис. 3.51) представляет собой усилитель-ограничитель напряжения ПЧ, частотный детектор и электронный регулятор напряжения низкой частоты звукового канала телевизионного приемника. Номинальное напряжение питания 12 В±10 %; ток потребления не более 22 мА; амплитуда входного сигнала 300 мВ; диапазон электронной регулировки передачи на 6,5 МГц не менее 60 дБ; устойчиво работает при эквивалентном сопротивлении входного контура не более 1 кОм. Микросхема выполнена в корпусе 201.14-6 (рис. 3.26).

Микросхема К174УР2 (рис. 3.52) включает в себя усилитель напряжения ПЧ, синхронный детектор, предварительный усилитель видеосигнала и ключевую АРУ канала изображения телевизионного приемника. Номинальное напряжение питания 12 В±10 %; ток потребления не более 70 мА; ширина полосы пропускания видеочастот на уровне 3 дБ 7,5...10 МГц; амплитуда напряжения входного сигнала 1 В. В зависимости от чувствительности микросхемы делятся на группы А и Б.

Чувствительность К174УР2А не хуже 500 мкВ, К174УР2Б — 300 мкВ. Выходное напряжение предварительного видеоусилителя на выводах 11 и 12 5...7 В; выходное напряжение АРУ (вывод 5) в зависимости от номинала положения переменного резистора R3 от 2 до 10 В. Диапазон регулировки усиления АРУ не менее 50 дБ; амплитуда напряжения входного строчного импульса по выводу 7—6 В. Микросхема выполнена в корпусе 238.16-4 (рис. 3.29).

Микросхема К174УР3 предназначена для использования в радиовещательных супергетеродинных ЧМ приемниках. Микросхема содержит следующие узлы: усилитель-ограничитель, частотный детектор и предварительный усилитель ЗЧ. Функциональная схема устройства приведена на рис. 3.53. Номинальное напряжение питания 6В ± ±5 %; ток потребления не более 12 мА; выходное напряжение ЗЧ не менее 100 мВ; коэффициент гармоник не более 2 %; входное напря-

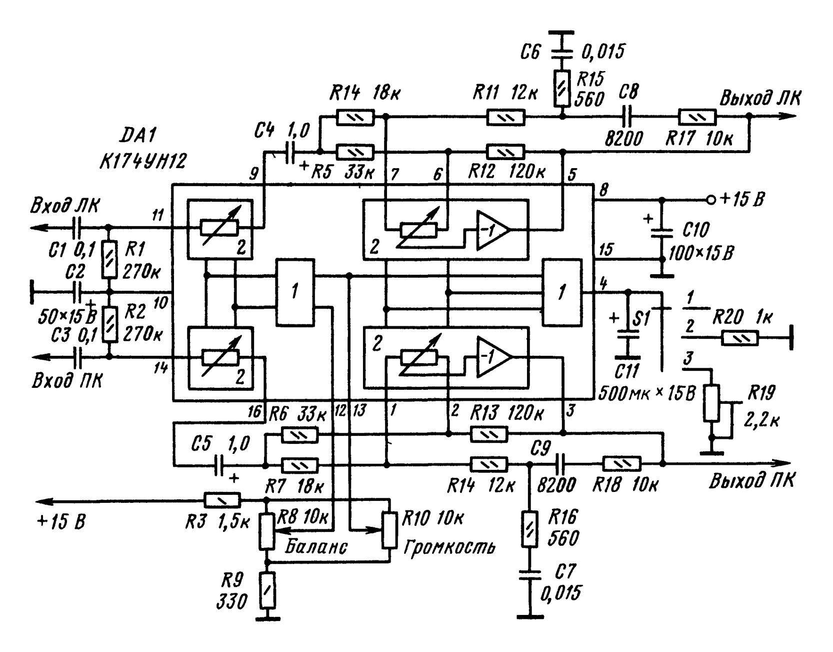


Рис 3 50

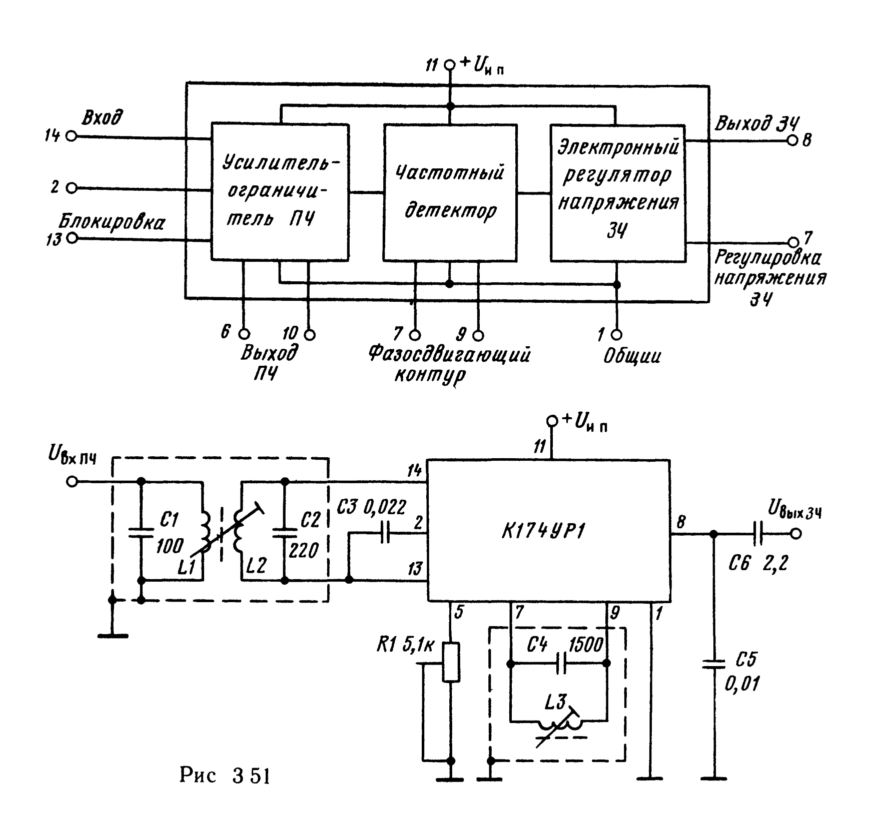


Рис 3 51

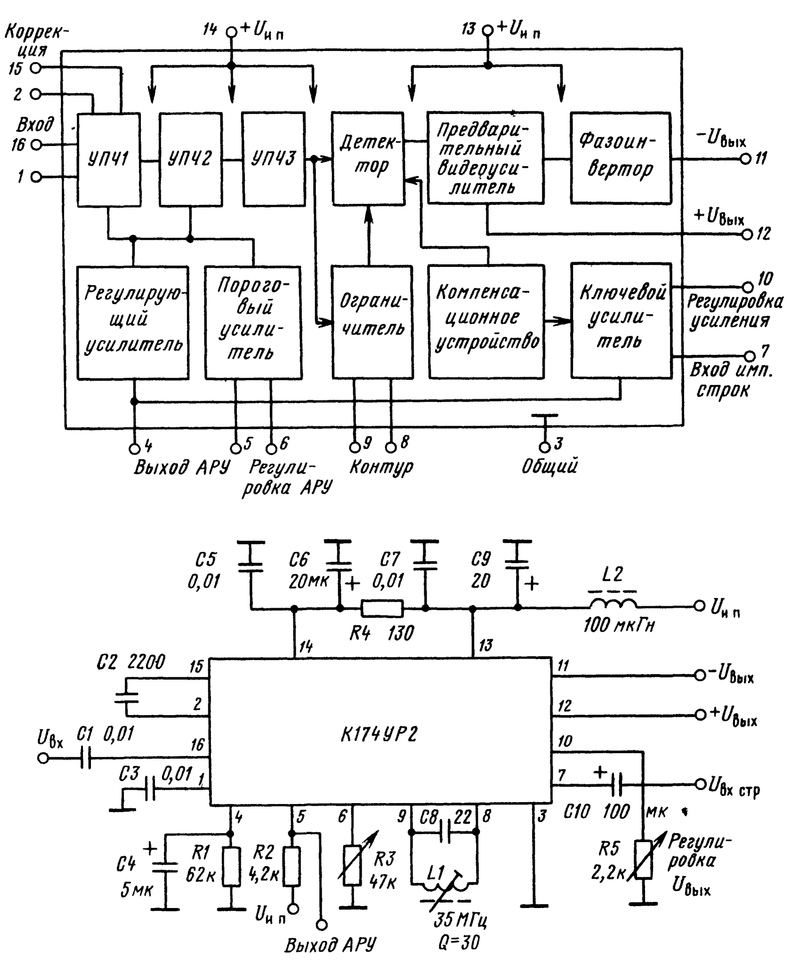


Рис. 3.52

жение при ограничении не более 100 мкВ, входное сопротивление на частоте 15 МГц не менее 3,9 кОм; выходное сопротивление 1,5 кОм. Микросхема выполнена в корпусе 201.14-1 (рис. 3.25).

Микросхема К224УС1 (рис. 3.54) является каскодным усилителем и предназначена для УРЧ и УПЧ, работающих в диапазоне 0,15...110 кГц. Входной сигнал подается на микросхему через вывод 1. Базовое смещение подается от системы АРУ или от внешнего источника на вывод 3. Входное сопротивление на частоте 10 МГц не менее 150 Ом. Наличие выводов 4, 6 и 7 позволяет регулировать сопротивление нижнего плеча делителя и менять смещение между эмиттером и базой входного транзистора. Поэтому напряжение питания микросхемы можно выбирать от 5,4 до 12 В. Нагрузка усилителя резонансная или апериодическая и включается между выводами 8 и 9. В диапазоне рабочих частот микросхема обеспечивает крутизну ВАХ не менее 30 мА/В. Неравномерность частотной характеристики не более 12 дБ.

Микросхема К2УС247 (рис. 3.55) предназначена для создания выходных УПЧ изображения. Используя выводы 2, 4, 5 и 8, можно в широких пределах менять режимы работы транзисторов. Частотный диапазон микросхем составляет 30... 45 МГц. Неравномерность частотной характеристики менее 3 дБ. Крутизна на частоте 35 МГц не менее 50 мА/В. Напряжение питания 12 В ± ± 10 %.

Микросхема К224УС8 (рис. 3.56) используется в УПЧ звукового сопровождения в телевизорах. Входной сигнал с частотой 6,5 МГц подается на вывод 2. Микросхема усиливает и одновременно ограничивает сигнал. Нагрузкой микросхеме служит контур частотного детектора. Полоса пропускания не менее 250 кГц. Коэффициент усиления не менее 100. С помощью потенциометра R1 можно регулировать усиление каскада более чем в 100 раз.

Микросхема К224ДС2 (рис. 3.57). Частотный детектор выполнен по типовой схеме симметричного детектора отношений, рабочий диапазон

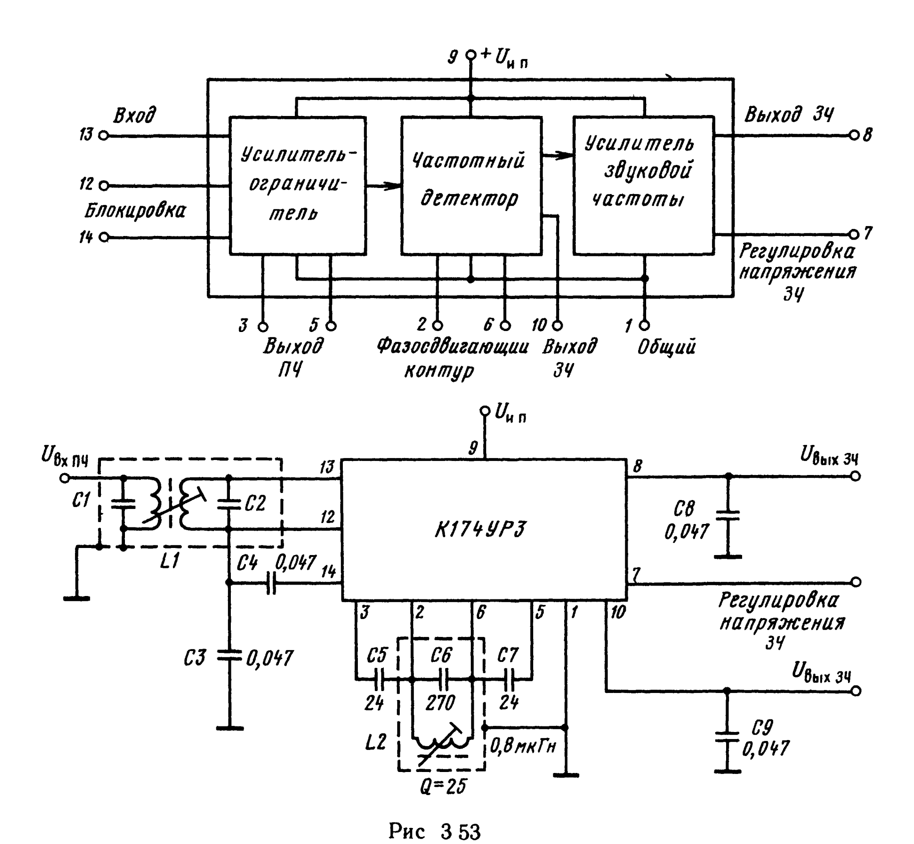
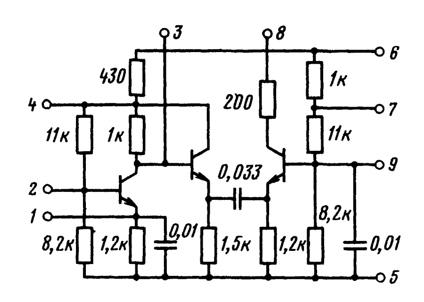
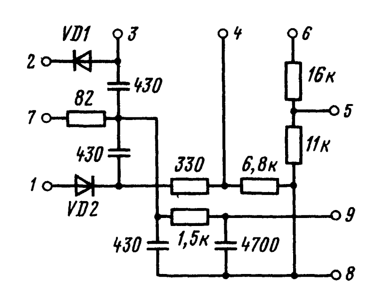


Рис 3 53

Рис 3 54

Рис 3 55





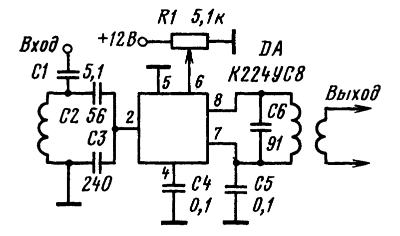


Рис. 3.56

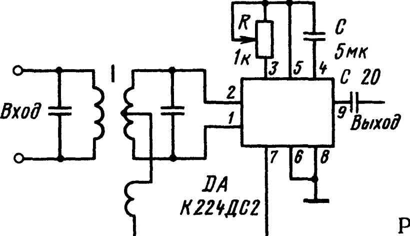
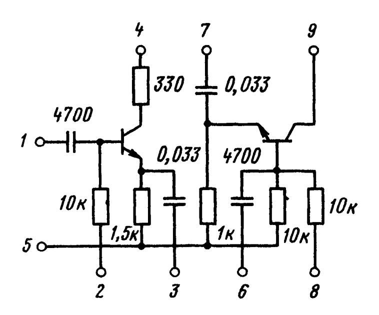
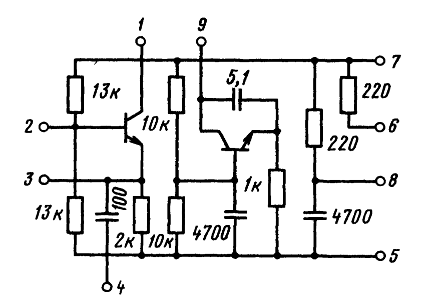


Рис. 3.57





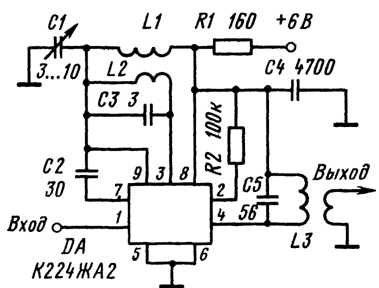


Рис 3.58

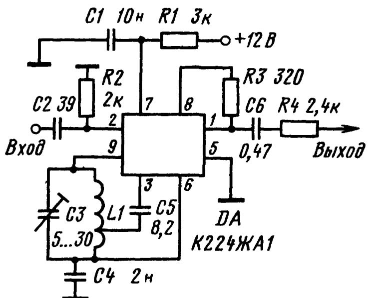


Рис 3.59

частот 6...20 МГц Предназначается для использования в тракте звукового сопровождения телевизора. При сопротивлении выходной нагрузки 20 кОм коэффициент передачи детектора не менее 0,15.

К выводам 1, 2 и 7 подключен фазовращательный трансформатор, через который на детектор поступает сигнал с частотой 6,5 МГц с выхода УПЧЗ. Для симметрирования плеч детектора между выводами 3 и 5 включен переменный резистор, а между выводами 4 и 5 конденсатор. На входе УЗЧ низкочастотный сигнал снимается с вывода 9 через разделительный конденсатор.

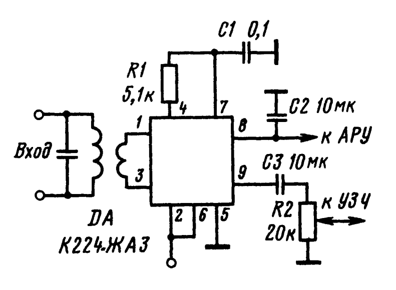


Рис. 3.60

Микросхема К224ЖА1 (рис. 3.58) предназначена для создания смесителя-гетеродина тракта УКВ-ЧМ сигналов. Входной сигнал поступает на смеситель через вывод 2, а сигнал гетеродина (65...120 МГц) — через вывод 3. Напряжение ПЧ (10...100 МГц) снимается с вывода 1 через разделительный конденсатор.

Микросхема К224ЖА2 (рис. 3.59) предназначена для создания смесителя и гетеродина в трактах АМ сигналов. Диапазон рабочих частот смесителя 0,15...30 МГц, а гетеродина 0,5...30 МГц. Входной сигнал поступает на вывод 1, сигнал гетеродина — на вывод 3. Крутизна смесительного каскада на частоте 10 МГц при нагрузке 100 Ом — 18 мА/В, гетеродина не менее 14 мА/В. Напряжение питания: 3,6...9 В для смесителя и 3...3,6 В для гетеродина. Потребляемая мощность микросхемы не более 30 мВт.

Микросхема К224ЖА3 (рис. 3.60) предназначена для детектирования АМ сигналов ПЧ и усиления напряжения АРУ. Входное сопротивление детектора на частоте 465 кГц не менее 500 Ом; коэффициент передачи — не менее 0,5; коэффициент гармоник не более 3,5 %; максимальный

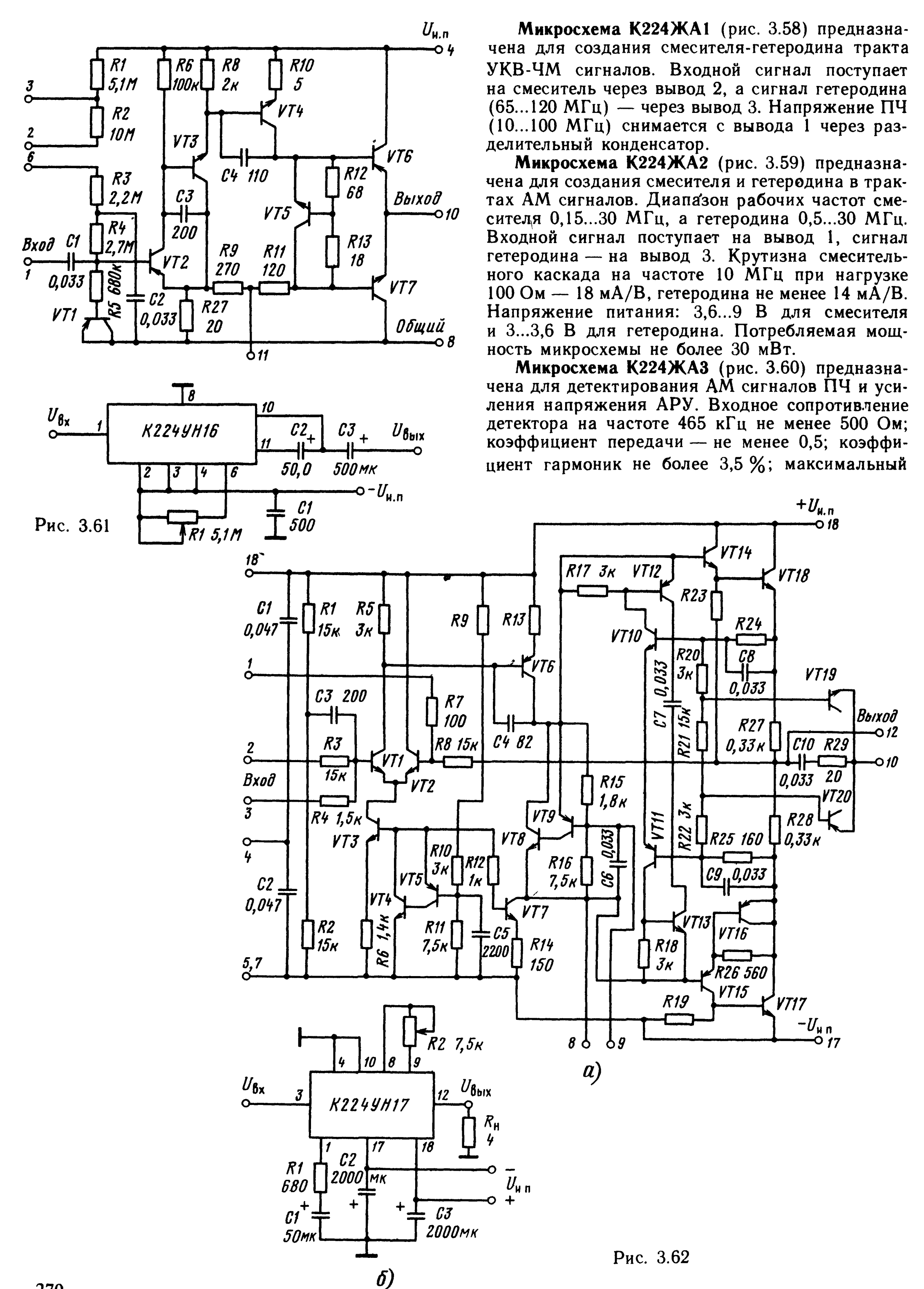


Рис. 3.61

Рис. 3.62

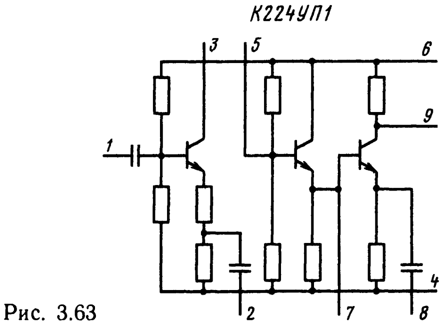


Рис. 3.63

сигнал АРУ практически равен напряжению питания; потребляемая мощность не более 10 мВт.

Микросхема К224УН16 (рис. 3.61) представляет собой УМ низкой частоты с номинальной мощностью 4 Вт при нагрузке 8 Ом. Рабочий диапазон частот 20...20 000 Гц; входное сопротивление не менее 300 кОм; коэффициент гармоник не более 2,5 %; номинальное напряжение питания 30 В ± 10 %.

Микросхема К224УН17 (рис. 3.62 *а, б*) представляет собой УМ низкой частоты с номинальной выходной мощностью 20 Вт при нагрузке 4 Ом. Рабочий диапазон частот 50...20 000 Гц; входное сопротивление не менее 10 кОм; коэффициент гармоник не более 1,5 %; номинальное напряжение питания ±24 В ± 10 %.

Микросхема К224УП1 (рис. 3.63) предназначена для усиления сигналов цветности. Частотный диапазон микросхемы составляет 2...10 МГц. При использовании микросхемы в канале задержанного сигнала сигнал цветности с линии задержки подается на вывод 1. Напряжение питания 12 В ± 10 % подается на вывод 6 (плюс) и на выводы 2,8 и 4 (общий). Между выводами 3 и 6 подключаются параллельно переменный резистор сопротивлением 2,2 кОм (для регулировки усиления) и дроссель с индуктивностью 40 мкГн. Между выводами 3 и 5 включается конденсатор емкостью 1000 пФ. С вывода 7 через разделительный конденсатор емкостью 680 пФ сигнал подается на электронный коммутатор, а с вывода 9 через конденсатор емкостью 68 пФ на контур (3,9 МГц) устройства цветовой синхронизации.

Микросхема К224УП2 (рис. 3.64) является усилителем-ограничителем. При использовании микросхемы в блоке цветности телевизора в качестве усилителя-ограничителя сигналов цветности цветоразностный сигнал с электронного коммутатора подается через вывод 1 микросхемы на транзисторный усилитель, коллекторной нагрузкой которого является дроссель с индуктивностью 40 мкГн, включенный между выводом 2 микросхемы и источником питания.

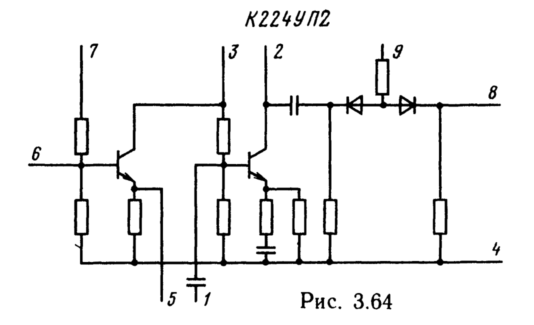


Рис. 3.64

Рис. 3.65

Усиленный сигнал с коллектора транзистора поступает на двусторонний диодный ограничитель, а затем с вывода 8 через внешний конденсатор емкостью 1000 пФ на базу эмиттерного повторителя (вывод 6). Снимаемый с вывода 5 микросхемы ограниченный цветоразностный сигнал подается на усилитель цветоразностных сигналов. Уровень двустороннего ограничения сигнала регулируется изменением напряжения на выводе 9 микросхемы в пределе 8...20 В. Напряжение питания 12 В ± 10 % подается на выводы 3, 7 и дроссель, подключаемый к выводам 2 (плюс) и 4 (общий).

Микросхема К224ТП1 (рис. 3.65) является симметричным триггером и предназначена для управления электронным коммутатором в блоке цветности телевизора. Переключение триггера из одного устойчивого состояния в другое осуществляется импульсами положительной полярности с частотой 15 625 Гц (формируемыми из импульсов обратного хода строчной развертки), подаваемыми на вывод 1. Импульсы цветовой синхронизации подаются с устройства опознания (К224ХП1, вывод 8) через разделительный конденсатор емкостью 2200 пФ на вывод 3. Импульсы прямоугольной формы с частотой 7812,5 Гц и амплитудой 6 В, снимаемые с выходов триггера (выводы 4 и 6) через резисторы сопротивлением 5,6 кОм, подаются на электронный коммутатор блока цветности. Напряжение питания 12 В ± 10 % подается на вывод 5 (плюс) и на вывод 9 (общий).

Микросхема К224ХП1 (рис. 3.66) является устройством опознания сигналов цветности в блоке цветности телевизора. Напряжение питания микросхемы 12 В ± 10 % подается на вывод 5 (плюс) и вывод 6 (общий). Между выводами 2 и 4 включаются параллельно резистор сопротивлением 100 кОм и конденсатор емкостью 0,01 мк. Работа микросхемы осуществляется следующим образом.

Сигнал опознания красных строк (4,756 МГц) через конденсатор 47 пФ подается на вывод 3 микросхемы, синих строк (3,9 МГц) — на вывод 9. На вывод 1 микросхемы подаются управляю-

Таблица 3.103. **Электрические параметры ОУ**

Параметры	Микросхема					
	К140УД1А	К140УД1Б	К140УД1В	К140УД5А	К140УД5Б	К140УД6
$U_{и\ п}$, В, рабочий диапазон	±3...7	±7...13	±7...13	±6...15	±6...15	±5..18
$U_{см}$, мВ, не более	±17	±17	±17	±10	±5	±10
$\Delta U_{см}/\Delta T°$, мкВ/°С, не более	60	60	60	50	10	20
$I_{вх}$, нА, не более	7000	9000	9000	5000	10 000	100
K_U, не менее	500...4500	1500...12 000	8000	500	1000	30 000
$V_{U\ вых}$, В/мкс, не менее	0,2	0,4	0,4	6	6	2
$K_{ос\ сф}$, дБ, не менее	60	60	60	50	60	70
$U_{вх}$, В	±1,2	±1,2	±1,2	±3	±3	±15
$U_{сф\ вх}$, В	±3	±6	±6	±6	±6	±11
$R_{вх}$, кОм, не менее	4	4	4	50	3	1000
$U_{вых}$, В, не менее	+2,8	+6; —5,7	+6; —5,7	+6,5; —4,5	+6,5; —4,5	±11
f_1, МГц	5	5	5	14	14	1

щие импульсы прямоугольной формы положительной полярности кадровой частоты от ждущего мультивибратора. Выходные сигналы микросхемы на выводах 7 и 8 формируются только при наличии всех трех указанных входных сигналов, т. е. при приеме цветного изображения.

Сигнал на выводе 8 представляет собой серию импульсов полустрочной частоты, фаза которых определяется чередованием красных и синих строк в сигнале цветности. Сигнал положительной полярности на выводе 7 микросхемы используется для включения устройства шунтирования режекторных контуров видеоусилителя в канале яркости. При отсутствии сигналов опознания красных и синих строк на выводах 3 и 9 микросхемы (прием черно-белого изображения) фронт кадрового импульса (вывод 1) выключает выходные сигналы с выводов 7 и 8 микросхемы.

Операционные усилители серии К140. Операционный усилитель — это усилитель электрических сигналов, предназначенный для выполнения различных операций над аналоговыми величинами при работе в устройстве с ООС. Основное назначение ОУ — построение устройств с фиксированным коэффициентом усиления и точно синтезированной передаточной функцией. Благодаря своей универсальности и возможности многофункционального использования с помощью ОУ могут быть сделаны УПЧ, видеоусилители, УЗЧ

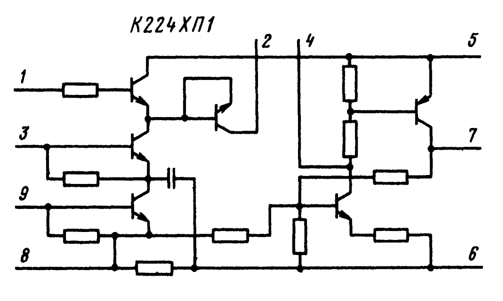


Рис. 3.66

и гетеродины радиоприемников, активные фильтры, генераторы сигналов, стабилизаторы источников питания, преобразователи типа цифра — аналог и аналог — цифра, ограничители, масштабирующие, логарифмические, дифференцирующие, интегрирующие и другие усилители.

Стандартный ОУ общего применения может использоваться примерно в 100...130 вариантах включения. Возможности применения ОУ зависят от его электрических параметров. Для полной характеристики ОУ необходимо более 30 параметров, с помощью которых возможно построение его параметрической модели. В табл. 3.103 приведены основные параметры наиболее распространенных ОУ серии К140 широкого применения. В таблице использованы следующие термины, определения и буквенные обозначения основных электрических параметров:

$U_{и\ п}$ — напряжение источников питания (допустимый рабочий диапазон); $U_{см}$ — напряжение смещения нуля; значение постоянного входного напряжения, при котором выходное напряжение равно нулю при включении резисторов с оговоренными сопротивлениями между любым входным выводом ОУ и источником входного напряжения; $\Delta U_{см}/\Delta T°$ — средний температурный дрейф напряжения смещения; $I_{вх}$ — входной ток, протекающий во входной цепи ОУ; K_U — коэффициент усиления при разомкнутой ОС: отношение приращения значения выходного напряжения (тока) ОУ к вызвавшему это приращение значению входного напряжения (тока); $V_{U_{вых}}$ — максимальная скорость нарастания выходного напряжения; наибольшая скорость изменения выходного напряжения ОУ при воздействии импульсов максимального входного напряжения прямоугольной формы; $K_{ос\ сф}$ — коэффициент ослабления синфазных входных напряжений: коэффициент, равный отношению приращения синфазных входных напряжений к входному напряжению, вызывающих одно и то же приращение выходного напряжения ОУ; $U_{вх}$ — входное напряжение; напряжение между входными выводами ОУ; $U_{сф\ вх}$ — синфазные входные напряжения; напряжение между каждым из вход-

К140УД7	К140УД8А	К140УД8Б	К140УД8В	К140УД9	К140УД11	К140УД12
±5...16,5	±6...16,5	±6...16,5	±6...16,5	±6...15	±5...18	±1,5...16,5
±9	±50	±100	±150	±5	±10	±6
6	50	100	150	20	70	35
400	0,2	0,2	0,2	350	500	50
30 000	50 000	20 000	20 000	35 000	25 000	50 000
0,3	2	5	2	0,5	+50, —20	2
70	70	70	70	80	70	70
±12	±10	±10	±10	±4	±15	±10
±12	±10	±10	±10	±6	±11,5	±12
400	1	1	1	300	300	$5 \cdot 10^3$
±10,5	±10	±10	±10	±10	±12	±10
0,8	1	1	1	5	5	0,8

ных выводов ОУ и землей, амплитуды и фазы которых совпадают; $R_{вх}$ — входное сопротивление; величина, равная отношению приращения входного напряжения ОУ к приращению активной составляющей входного тока при заданном значении частоты сигнала; $U_{вых}$ — выходное напряжение: напряжение между выводами выхода ОУ и земли; f_1 — частота единичного усиления; частота, на которой модуль коэффициента усиления ОУ равен единице.

Конструктивно ОУ серии К140 выполнены в круглых металлостеклянных корпусах типа 301.12-1 (рис. 3.35) для микросхем К140УД1, К140УД5, К140УД9 и типа 301.8-2 (рис. 3.34) для микросхем К140УД6, К140УД7, К140УД8, К140УД10, К140УД11, К140УД12.

Микросхема К140УД1 представляет собой ОУ общего изначения. Схема включения микросхемы показана на рис. 3.67. В зависимости от напряжения питания и других электрических параметров микросхемы делятся на группы А, Б и В. Микросхема К140УД1А имеет номинальное напряжение питания ±6,3 В±5 %, микросхемы группы Б и В — ±12,6 В±5 %. Выходное сопротивление 700 Ом, выходной ток не более 2,5 мА, сопротивление нагрузки не менее 5 кОм. Вывод 4 микросхемы можно соединять с корпусом или оставлять свободным. Заземлять вывод 4 рекомендуется в случае работы микросхемы

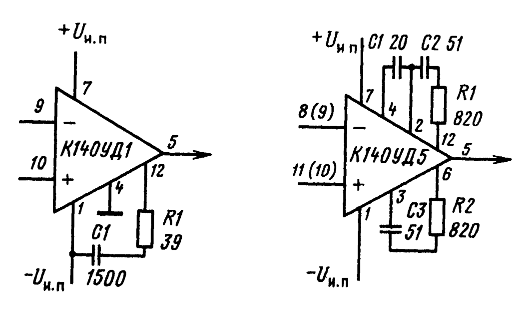


Рис. 3.67

Рис. 3.68

при больших входных сигналах (в режиме насыщения входных транзисторов ОУ) во избежание искажений положительного входного сигнала. При заземлении вывода 4 коэффициент ослабления синфазных входных напряжений и влияние нестабильности источников питания на напряжение смещения ухудшаются. Кроме того, при асимметрии напряжений питания увеличивается напряжение смещения и уменьшается коэффициент усиления.

При работе ОУ с малыми сигналами или когда форма ограниченного входного сигнала не имеет существенного значения, вывод 4 заземлять не рекомендуется. При этом асимметрия напряжений источников питания не влияет на электрические параметры ОУ. Для получения симметричного ограниченного выходного напряжения сопротивление нагрузки необходимо выбирать не менее 10 кОм.

Подключение корректирующих элементов осуществляется между выводами 1 и 12. Выбор номиналов корректирующих элементов R1 и C1 зависит от реализуемого усиления, при этом ОУ обладает различной полосой пропускания. Балансировка ОУ для получения нулевого выходного напряжения может быть произведена с помощью потенциометра, включенного между выводами 7 и 12.

Микросхема К140УД5 (рис. 3.68) представляет собой ОУ общего назначения. Микросхемы делятся на группы А и Б. В ОУ К140УД5А входные сигналы подаются через эмиттерные повторители (выводы 8 и 11), а в ОУ К140УД5Б — непосредственно на базы транзисторов дифференциального каскада (выводы 9 и 10). Номинальное напряжение питания ±12 В±10 %; ток потребления не более 12 мА; выходное сопротивление не более 1 кОм; максимальный выходной ток 3 мА; сопротивление нагрузки не менее 5 кОм

Для получения скорости нарастания выходного напряжения 6 В/мкс необходимо применять внешние цепи коррекции R1, R2, C1, C2, C3. При понижении напряжений питания в 2 раза скорость нарастания выходного напряжения падает также в 2 раза. Балансировка ОУ осу-

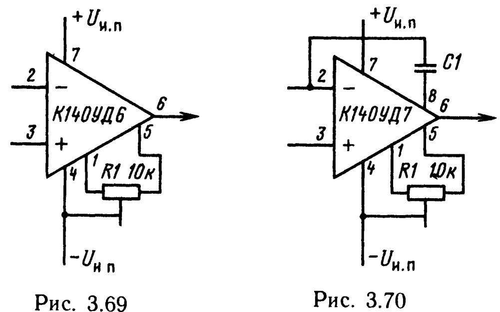


Рис. 3.69   Рис. 3.70

ществляется подключением потенциометра 10 кОм между выводами 2 и 3, движок которого через резистор сопротивлением 51 кОм подключен к выводу 7.

Микросхема К140УД6 (рис. 3.69) представляет собой ОУ общего назначения с внутренней частотной коррекцией и устройством защиты выхода от коротких замыканий. Номинальное напряжение питания ±15 В±10 %; ток потребления не более 4 мА; сопротивление нагрузки не менее 2 кОм. При понижении напряжений питания (не менее 5 В) напряжение смещения, входные токи, разность входных токов остаются практически постоянными; максимальные выходные напряжения уменьшаются по линейному закону; скорость нарастания выходного напряжения уменьшается, коэффициент ослабления синфазного сигнала увеличивается. Балансировка ОУ для получения нулевого выходного напряжения производится внешним потенциометром R1.

Микросхема К140УД7 (рис. 3.70) представляет собой ОУ общего назначения с внутренней частотной коррекцией и устройством защиты выхода при коротких замыканиях. Номинальное напряжение питания ±15 В±10 %; ток потребления не более 3,5 мА; сопротивление нагрузки не менее 2 кОм. При подключении внешнего конденсатора C1 емкостью 1000 пФ между выводами 8 и 2 скорость изменения выходного напряжения возрастает до 10 В/мкс. Балансировка выходного напряжения производится внешним потенциометром R1.

Микросхема К140УД8 (рис. 3.71) представляет собой ОУ общего назначения. Микросхема имеет на входе полевые транзисторы, что позволяет получить минимальный шумовой сигнал В микросхеме применено устройство внутренней коррекции, что обеспечивает усилителю устойчивую работу без внешних элементов. В зависимости от норм на электрические параметры микросхемы делятся на группы А, Б и В.

Номинальное напряжение питания ±15 В±±5 %, ток потребления не более 5 мА, выходное сопротивление не более 200 Ом, сопротивление нагрузки не менее 2 кОм. Коэффициент усиления ОУ не уменьшается с понижением напряжений питания, максимальное выходное напряжение уменьшается пропорционально понижению напряжения питания. Балансировка выходного напряжения производится внешним потенциометром R1.

Микросхема К140УД9 (рис. 3.72) представляет собой ОУ общего назначения, имеет защиту от перенапряжений по входу и устройство защиты выхода от коротких замыканий. Номинальное напряжение питания ±12,6 В±10 %; сопротивление нагрузки не менее 1 кОм. Корректирующий конденсатор C1 емкостью до 15 000 пФ включается между выводами 8 и 11. Балансировка выходного напряжения производится внешним потенциометром R2.

Микросхема К140УД10 (рис. 3.73) представляет собой быстродействующий ОУ, имеющий скорость нарастания выходного напряжения 33 В/мкс и частоту единичного усиления 15 МГц. Включает устройства защиты от перенапряжений по входу и защиты выхода от коротких замыканий. Номинальное напряжение питания ±5...16 В. При питании ОУ напряжением ±15 В: напряжение смещения нуля не более ±4 мВ; коэффициент усиления не менее 50 000; коэффициент ослабления синфазного сигнала не менее 80 дБ; максимальное входное и входное синфазное напряжения ±10 В; максимальное выходное напряжение ±10 В.

Для предотвращения генерации применяются внешние цепи коррекции R1 и C1. Балансировка усилителя осуществляется подключением переменного резистора между выводами 1 и 5.

Микросхема К140УД11 (рис. 3.74) представляет собой быстродействующий ОУ, имеет устройства защиты от перенапряжений по входу и защиты выхода от коротких замыканий. Номинальные напряжения питания микросхемы ±5...18 В. Допустимые отклонения напряжения питания от номинальных значений могут быть ±5, ±10,

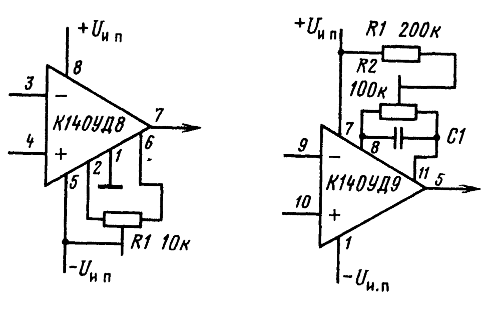


Рис. 3.71   Рис. 3.72

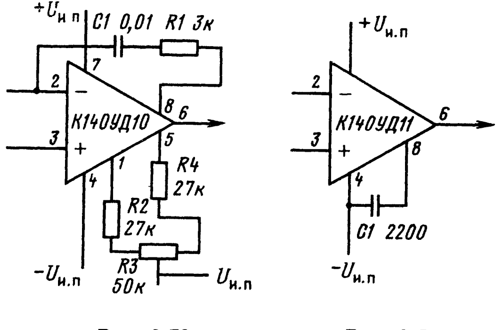


Рис. 3.73   Рис. 3.74

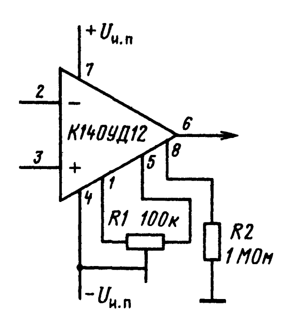


Рис. 3.75

±20 %, но не выходящие за пределы номинальных вышеуказанных значений. Сопротивление нагрузки не менее 2 кОм.

Микросхема К140УД12 (рис. 3.75) представляет собой многофункциональный микромощный ОУ с регулируемым потреблением мощности, внутренней частотной коррекцией, защитой от триггерного режима и устройством защиты выхода от коротких замыканий. Задавая ток смещения стабилизатора-регулятора (вывод 8), можно изменять параметры ОУ от микромощных до параметров, свойственных ОУ общего применения. Наличие тока смещения является необходимым условием обеспечения работоспособности микросхемы. Ток, потребляемый ОУ, регулируется с помощью внешнего резистора R2. Номинальное сопротивление резистора R2 определяется приближенно как отношение положительного напряжения источника к току смещения.

При напряжении источников питания ±15 В для токов смещения 15 и 1,5 мкА сопротивления R2 равны соответственно 1 и 10 МОм. Номинальные напряжения питания ±15 В. Допустимые отклонения напряжений питания от номинальных значений +10, —80 %. Входное сопротивление не менее 50 МОм при токе смещения 1,5 мкА и 5 МОм — при 15 мкА. Выходное сопротивление не более 5 кОм при токе смещения 1,5 мкА и 1 кОм — при 15 мкА. Максимально допустимый ток смещения через вывод 8 — не более 200 мкА. При питании ОУ пониженным напряжением входное и входное синфазное напряжения не должны превышать напряжений питания.

3.15. КОММУТАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА

Коммутационные устройства (переключатели: кнопочные, перекидные, поворотные; микропереключатели, малогабаритные электромагнитные реле, шаговые искатели) предназначены для включения и отключения различных электрических устройств, коммутации электрических цепей в радиоаппаратуре, устройствах автоматики сигнализации и связи.

Переключатели кнопочные

Малогабаритные кнопки типа КМ предназначены для коммутации электрических цепей с активной нагрузкой постоянного тока 0,0005... 4 А с напряжением 0,5...30 В и переменного тока 50...400 Гц от 0,0005 до 3 А с напряжением 0,5...250 В. Конструктивные данные и электрическая схема приведены на рис. 3.76.

Износостойкость кнопок не менее 10 000 циклов переключений. Циклом переключения считают переключение кнопки из положения «Выключено» в положение «Включено» и возвращение ее в положение «Выключено».

Командные кнопки предназначены для коммутации электрических цепей постоянного и переменного тока с напряжением 10...50 В и током 0,05...1,5 А. Конструктивные данные и электрические схемы кнопок однополюсного включения КН-1, двухполюсного включения КН-2 и однополюсного включения — выключения приведены на

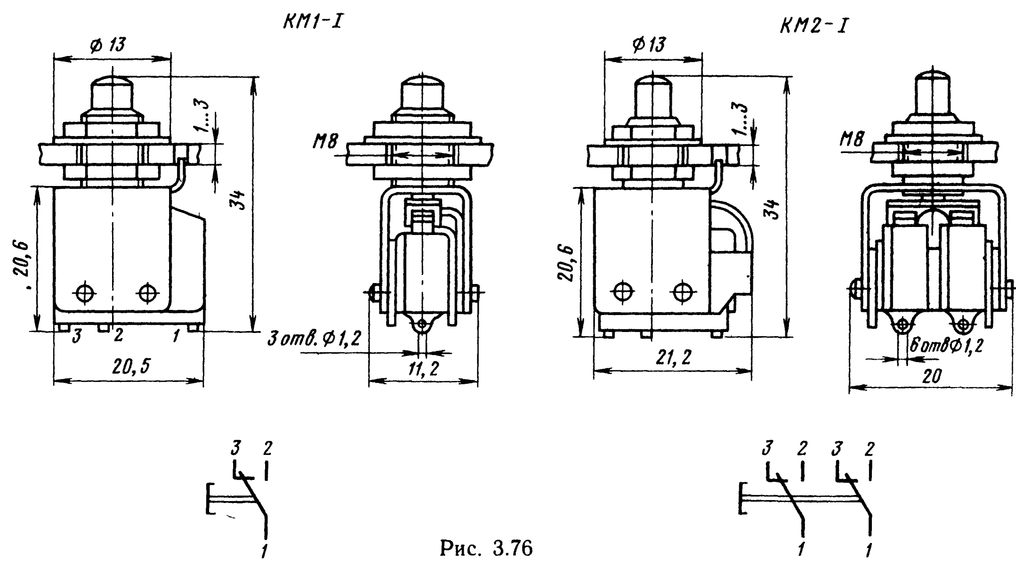


Рис. 3.76

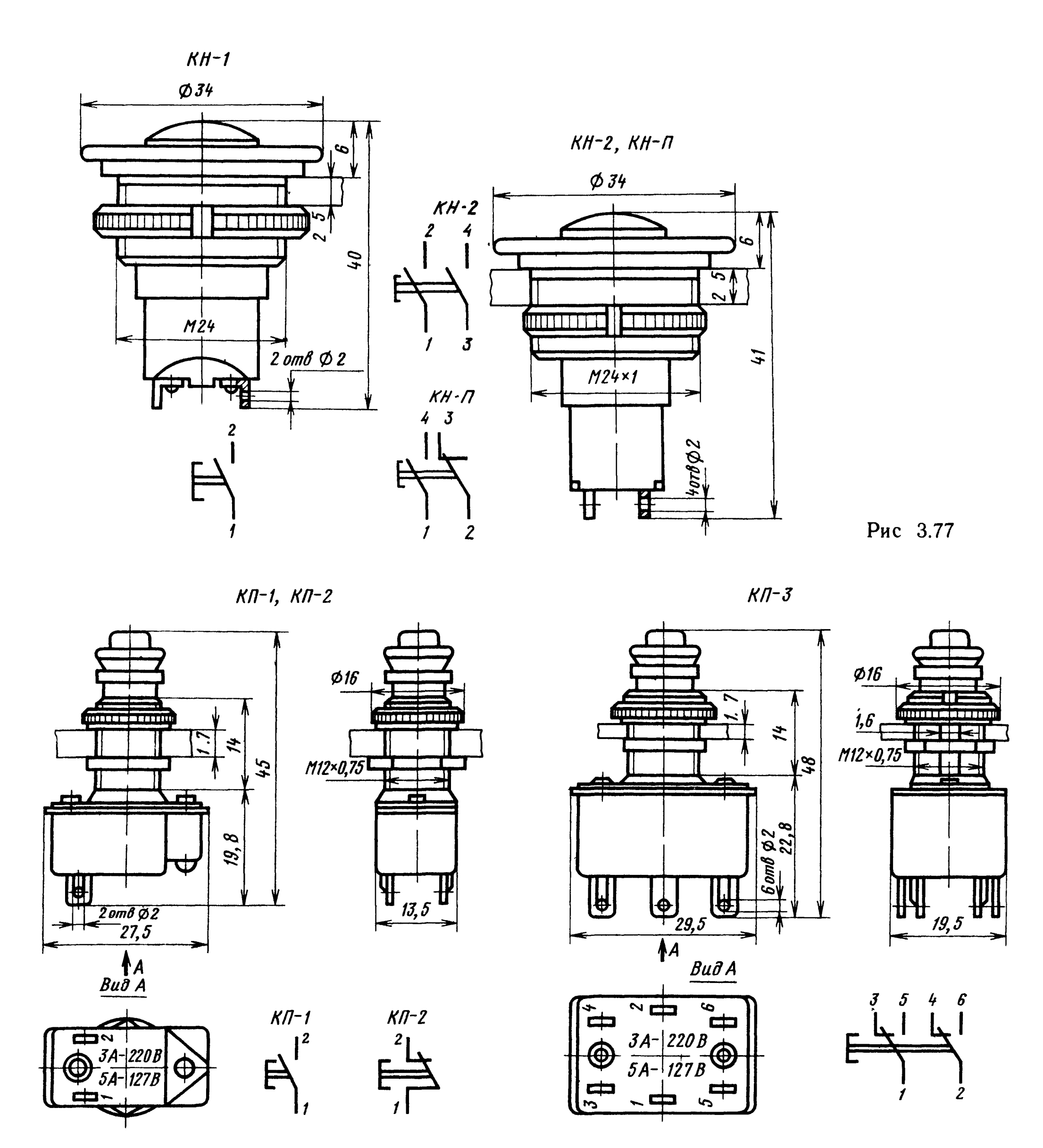


Рис. 3.78

рис. 3.77. Износостойкость кнопок не менее 15 000 циклов переключений.

Кнопочные переключатели типа КП (рис. 3.78) предназначены для коммутации электрических цепей постоянного и переменного тока с напряжением 127...220 В и током 0,2...3 А, коммутационная мощность не более 600 Вт. Износостойкость кнопок не менее 10 000 циклов переключений.

Переключатели перекидные

Переключатели типа «тумблер» (рис. 3.79) предназначены для коммутации электрических цепей постоянного и переменного тока.

Тумблер ТВ1-1 однополюсный, имеет нормально разомкнутые 3—4 и нормально замкнутые 1—2 контакты. Тумблер ТВ1-2 двухполюсный, имеет нормально замкнутые 1—2, 3—4 и нормально разомкнутые 5—6, 7—8 контакты. Тумблер ТВ1-4 четырехполюсный, имеет нормально замкнутые контакты 1—2, 3—4, 5—6, 7—8.

Допустимые электрические нагрузки: для тумблеров ТВ1 рабочее напряжение 1,6...220 В, ток 0,001...5 А, коммутационная мощность 250 Вт; для тумблеров ТВ2 соответственно 1,6... 220 В, 0,001...1 А, 120 Вт, для тумблеров ТП1 — 1,6.. 220 В, 0,001...2 А, 220 Вт. Износостойкость тумблеров не менее 10 000 циклов переключений.

Переключатели типа П1Т и П2Т (рис. 3.80)

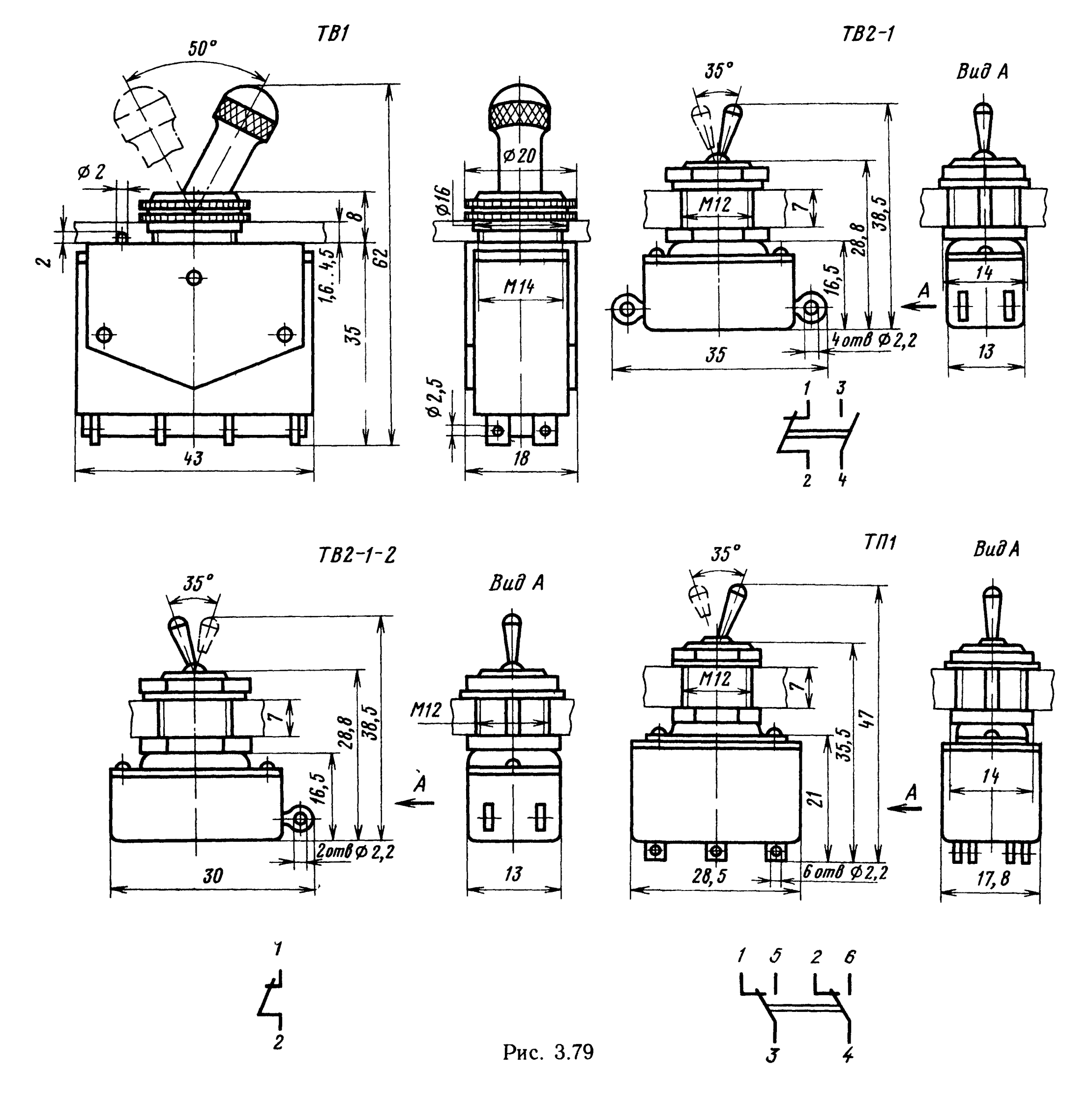


Рис. 3.79

предназначены для коммутации электрических цепей постоянного тока 0,5...5 А с напряжением 3...30 В и переменного тока 0,5...4 А с напряжением 3...250 В. Износостойкость переключателей не менее 10 000 циклов переключений.

Микротумблеры типа МТ (рис. 3.81) предназначены для коммутации электрических цепей постоянного тока 0,0005...4 А с напряжением 0,5...30 В и переменного тока 0,0005...3 А с напряжением 0,5...250 В. Износостойкость микротумблеров при активной нагрузке не менее 10 000 циклов переключений.

Переключатели поворотные

Переключатели галетные типа ПГК и ПГГ. Предназначены для коммутации электрических цепей постоянного и переменного тока с напряжением до 350 В и током до 3 А. Максимальная коммутируемая мощность 70 Вт. Конструктивные данные переключателей приведены на рис. 3.82 и в табл. 3.104. Характеристики переключателей приведены в табл. 3.105, схемы электрические (для одной платы переключателей) — на рис. 3.83. Схемы и характеристики переключателей типа ПГГ аналогичны переключателям ПГК.

Обозначение переключателей: ПГК — переключатель галетный с керамическими платами; ПГГ — переключатель галетный с гетинаксовыми платами; 2П—11П — число рабочих положений; 2Н—16Н — число направлений; 8 или 15 — расстояние между платами, мм; А или Б — ось переключателя по варианту А или Б; Т — тропическое исполнение. Примеры обозначения: ПГК-2П8Н-8АТ, ПГГ-2П8Н-15Б.

Для переключателей, имеющих ось с конической лыской, после цифры, обозначающей

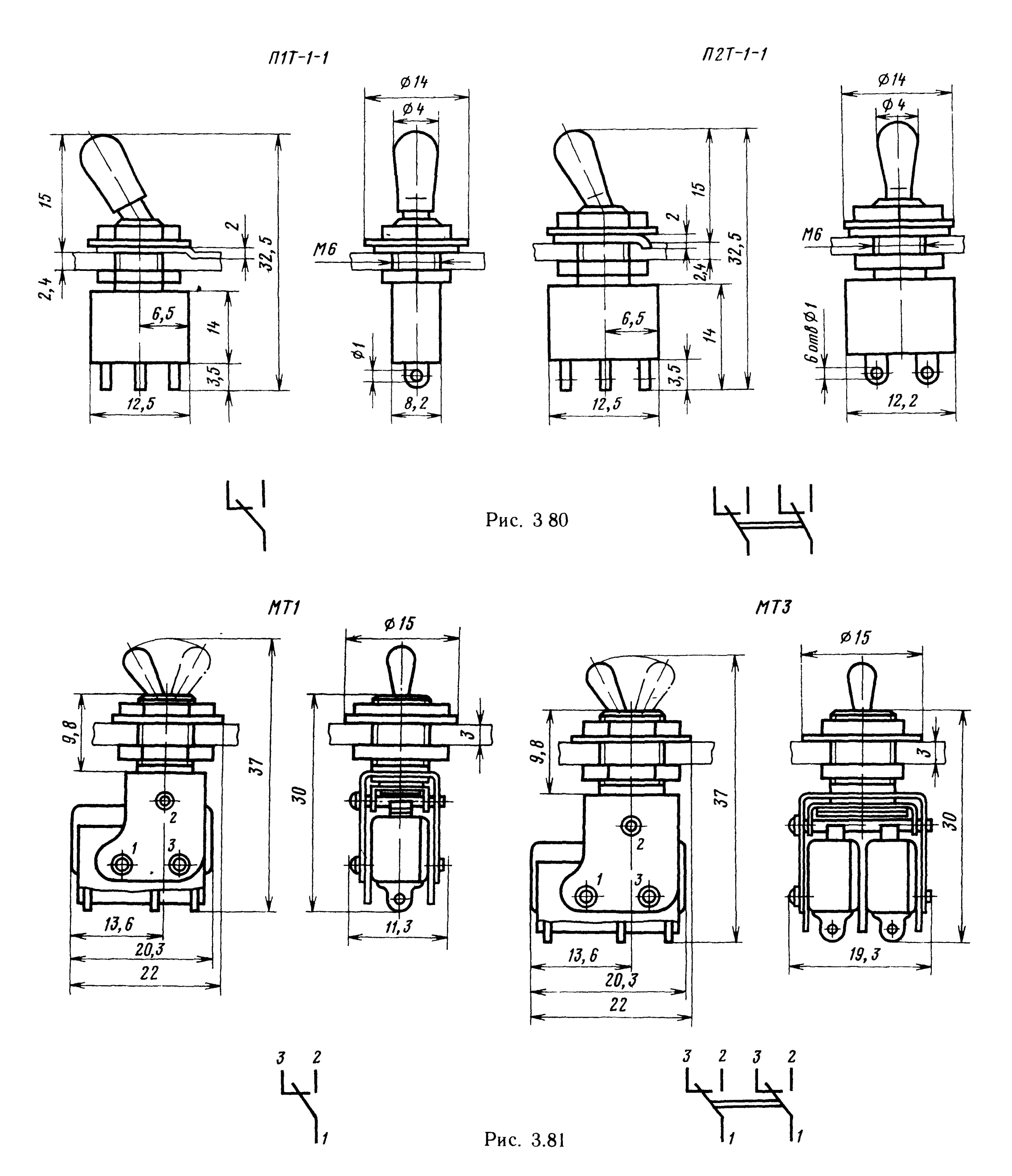


Рис. 3 80

Рис. 3.81

расстояние между платами, буквенное обозначение варианта оси отсутствует: ПГК-2П8Н-8.

Для переключателей, имеющих длину выступающей части оси 9,5 и 15,5 мм, после цифры, обозначающей расстояние между платами, через тире проставляются соответствующие цифры 9,5 или 15,5 (буквы в этом случае не ставятся) — ПГК-2П8Н-8 — 9,5.

Износостойкость переключателей не менее 10 000 циклов переключений. Под циклом переключения понимается перевод ротора переключателя из одного крайнего положения в другое.

При установке переключателей на панель штырь упора в переключателе на 11 положений отгибается, на 5 положений — устанавливается в четвертое отверстие, в переключателе на 3 положения — во второе отверстие, на 2 положения — в первое отверстие основания.

В переключателях на 3, 5, 11 положений допускается за счет перестановки упора использовать меньшее число положений. При этом

Таблица 3.104. **Конструктивные данные галетных переключателей**

Тип	Число плат	Размеры, мм		Масса, г
		l	$L(L_1)$	
ПГК, ПГГ	1	—	49(49)*	61(48)*
	2	8	64(55)	90(60)
		15	71(61)	92(63)
	3	8	76(65)	115(70)
		15	90(80)	118(72)
	4	8	91(75)	139(81)
		15	111(85)	145(84)
ПГ2	1	24,5	45(51)	25
	2	31,5	52(58)	27
	3	38,5	59(65)	29
	4	44,5	66(72)	31
ПГ3	1	25	51	37(36)**
	2	33	59	41(40)
	3	41	67	45(44)
	4	49	75	50(48)
	5	57	83	54(52)

* Для переключателей ПГГ.
** Для переключателей с пластмассовыми платами.

упор ставится в отверстие основания на единицу меньше необходимого количества положений.

Переключатели галетные типа ПГ2. Предназначены для коммутации электрических цепей постоянного и переменного тока с напряжением 0,01...130 В и током до 0,5 А. Максимальная коммутирующая мощность 15 Вт. Конструктивные данные переключателей приведены на рис. 3.84 и в табл. 3.104. Характеристики переключателей приведены в табл. 3.105, схемы электрические (для одной платы) — на рис. 3.85.

Обозначение переключателей: ПГ2 — переключатель галетный второй разработки; 1...24 — вариант исполнения; 2П—12П — число рабочих положений; 1Н—16Н — число направлений; Т — тропическое исполнение; Р или К — вид ручки. Пример обозначения: ПГ2-8-12П4НТР, ПГ2-8-12П4НТК. Переключатели первых четырех вариантов (табл. 3.105) выполнены с круговым вращением.

Износостойкость переключателей при активной нагрузке не менее 10 000 циклов переключений.

Переключатели галетные типа ПГ3 предназначены для коммутации электрических цепей постоянного и переменного тока с напряжением 1,6...250 В и током 10^{-7}...0,5 А. Максимальная коммутируемая мощность 25 Вт.

Конструктивные данные переключателей показаны на рис. 3.86 и в табл. 3.104. Характеристики переключателей приведены в табл. 3.105, схемы электрические (для одной платы) — на рис. 3.87. Характеристики переключателей с пластмассовыми платами и широкими ножами аналогичны переключателям с керамическими платами.

Таблица 3.105. **Характеристики галетных переключателей**

Обозначение переключателя	Число положений	Число направлений	Число плат	Схема электрическая
ПГК-2П4Н	2	4	1	Рис. 3.83, *а*
ПГК-2П8Н		8	2	
ПГК-2П12Н		12	3	
ПГК-2П16Н		16	4	
ПГК-3П3Н	3	3	1	Рис. 3.83, *б*
ПГК-3П6Н		6	2	
ПГК-3П9Н		9	3	
ПГК-3П12Н		12	4	
ПГК-5П2Н	5	2	1	Рис 3.83, *в*
ПГК-5П4Н		4	2	
ПГК-5П6Н		6	3	
ПГК-5П8Н		8	4	
ПГК-11П1Н	11	1	1	Рис. 3.83, *г*
ПГК-11П2Н		2	2	
ПГК-11П3Н		3	3	
ПГК-11П4Н		4	4	
ПГ2-1-6П1НТ	6	1	1	Рис. 3.85, *а*
ПГ2-2-6П2НТ		2	2	
ПГ2-3-6П3НТ		3	3	
ПГ2-4-6П4НТ		4	4	
ПГ2-5-12П1НТ	12	1	1	Рис. 3.85, *б*
ПГ2-6-12П2НТ		2	2	
ПГ2-7-12П3НТ		3	3	
ПГ2-8-12П4НТ		4	4	
ПГ2-9-6П2НТ	6	2	1	Рис 3.85, *в*
ПГ2-10-6П4НТ		4	2	
ПГ2-11-6П6НТ		6	3	
ПГ2-12-6П8НТ		8	4	
ПГ2-13-4П3НТ	4	3	1	Рис. 3.85, *г*
ПГ2-14-4П6НТ		6	2	
ПГ2-15-4П9НТ		9	3	
ПГ2-16-4П12НТ		12	4	
ПГ2-17-3П4НТ	3	4	1	Рис. 3.85, *д*
ПГ2-18-3П8НТ		8	2	
ПГ2-19-3П12НТ		12	3	
ПГ2-20-3П16НТ		16	4	
ПГ2-21-2П4НТ	2	4	1	Рис. 3.85, *е*
ПГ2-22-2П8НТ		8	2	
ПГ2-23-2П12НТ		12	3	
ПГ2-24-2П16НТ		16	4	
ПГ3-2П4Н-КТ	2	4	1	Рис 3.87, *а*
ПГ3-2П8Н-КТ		8	2	
ПГ3-2П12Н-КТ		12	3	
ПГ3-2П16Н-КТ		16	4	
ПГ3-2П20Н-КТ		20	5	
ПГ3-3П3Н-КТ	3	3	1	Рис. 3.87, *б*
ПГ3-3П6Н-КТ		6	2	
ПГ3-3П9Н-КТ		9	3	
ПГ3-3П12Н-КТ		12	4	
ПГ3-3П15Н-КТ		15	5	
ПГ3-5П2Н-КТ	5	2	1	Рис. 3.87, *в*
ПГ3-5П4Н-КТ		4	2	
ПГ3-5П6Н-КТ		6	3	
ПГ3-5П8Н-КТ		8	4	
ПГ3-5П10Н-КТ		10	5	
ПГ3-11П1Н-КТ	11	1	1	Рис 3.87, *г*
ПГ3-11П2Н-КТ		2	2	
ПГ3-11П3Н-КТ		3	3	
ПГ3-11П4Н-КТ		4	4	
ПГ3-11П5Н-КТ		5	5	

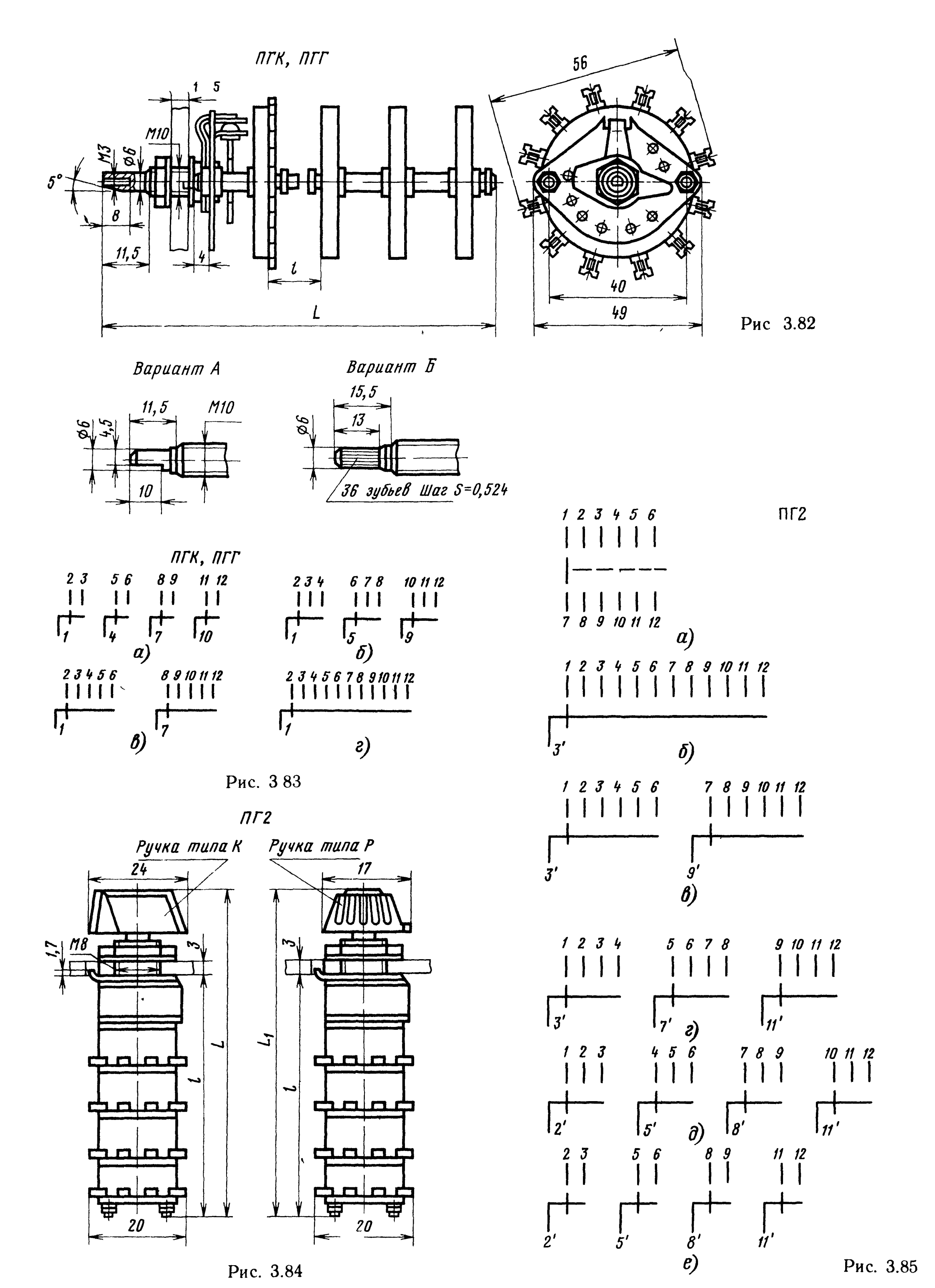


Рис 3.82

Рис. 3.83

Рис. 3.84

Рис. 3.85

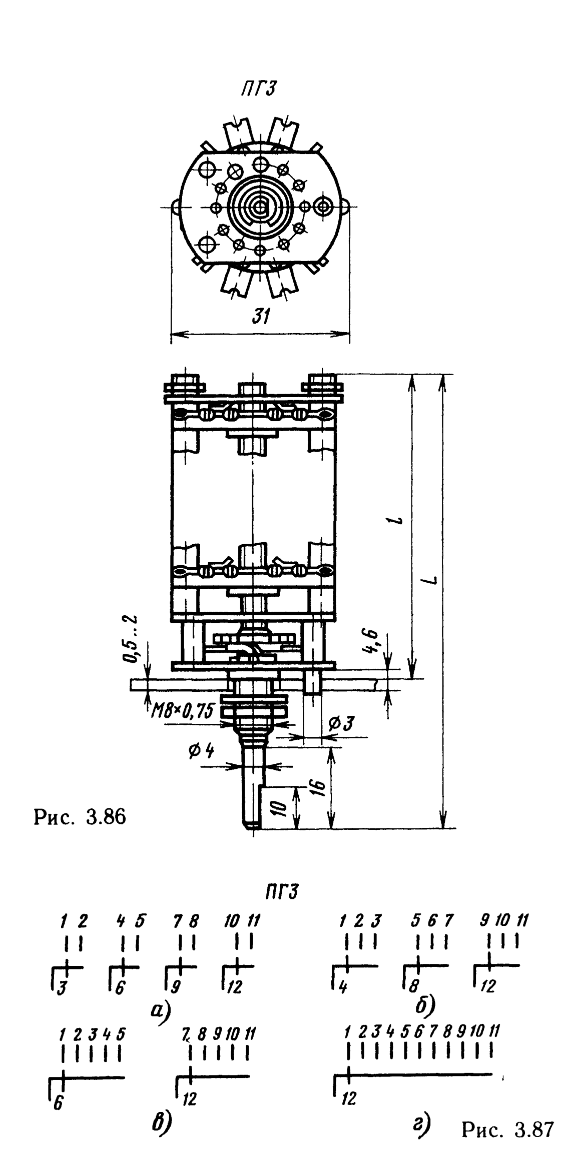


Рис. 3.86

Рис. 3.87

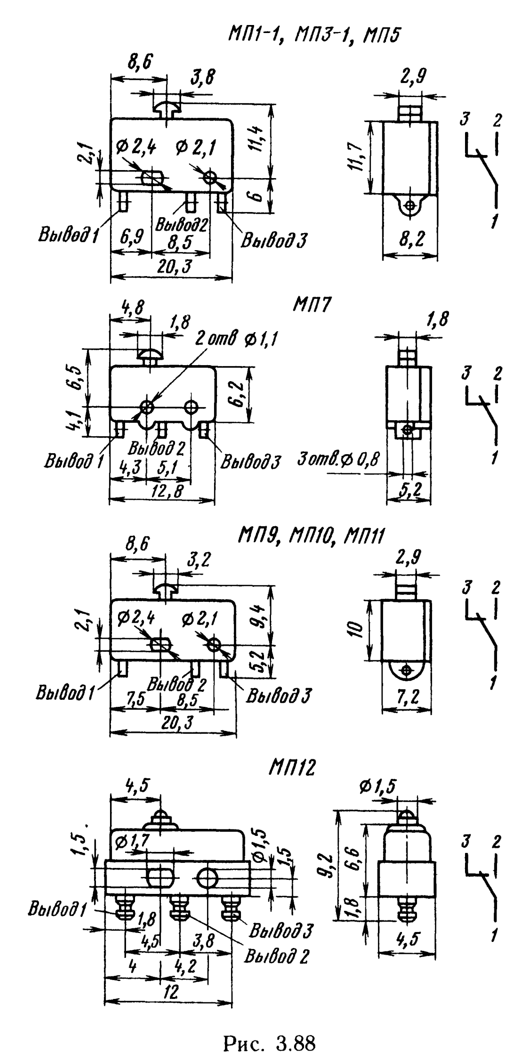


Рис. 3.88

Обозначение переключателей: ПГ3 — переключатель галетный, третий вариант исполнения; 2П—11П — число рабочих положений; 1Н—20Н — число направлений; К — керамическая плата; П — пластмассовая плата; Ш — наличие широких ножей; Т — тропическое исполнение. Примеры обозначений: ПГ3-2П4Н-КТ, ПГ3-2П4Н-ПТ, ПГ3-2П4Н-КШТ.

Износостойкость переключателей при активной нагрузке: для переключателей на 2 положения — 12 500 циклов переключений, для переключателей на 3, 5, 11 положений — 10 000, 7500, 5000 циклов переключений соответственно.

Микропереключатели

Микропереключатели (рис. 3.88) предназначены для коммутации электрических цепей постоянного и переменного тока 50...400 Гц.

Допустимые электрические нагрузки: для микропереключателей МП1-1, МП9 постоянное рабочее напряжение 3...30 В, ток 0,05...1 А, коммутируемая мощность 30 Вт; для переменного напряжения соответственно 3...250 В, 0,05...2А, 250 Вт, для микропереключателей МП3-1, МП5, МП10, МП11 постоянное рабочее напряжение 3...30 В, ток 0,5...2А, коммутируемая мощность 70 Вт; для переменного напряжения соответственно 3...250 В, 0,5...3 А, 300 Вт; для микропереключателя МП7 постоянное рабочее напряжение 3...30 В, ток 0,05...0,5 А, коммутируемая мощность 15 Вт, для переменного напряжения соответственно 3...250 В, 0,05...0,5 А, 15 Вт; для микропереключателя МП12 постоянное рабочее напряжение 0,5...36 В, ток 10^{-6}...0,5 А.

Износостойкость микропереключателей не менее 10 000 циклов переключений.

Малогабаритные реле постоянного тока

Реле РЭС15 (рис. 3.89, табл. 3.106). Пылебрызгозащищенное реле предназначено для коммутации электрических цепей постоянного тока с напряжением 6...30 В и током 0,1...0,2 А и переменного тока (50...400 Гц) с напряжением 30...127 В и током 0,01...0,15 А. Время срабатывания реле не более 8 мс, время отпускания — не менее 5 мс. Износостойкость реле при активной нагрузке не менее 100 000 циклов переключений.

Реле РЭС32 (рис. 3.90, табл. 3.106). Пылебрызгозащищенное реле предназначено для коммутации электрических цепей постоянного тока с напряжением 6...30 В и током 0,03...1 А и переменного тока (50...1000 Гц) с напряжением 12...220 В и током 0,05...0,5 А. Время срабатывания реле не более 15 мс, время отпускания — не более 8 мс. Износостойкость реле в зависимости от мощности активной нагрузки от 10^3 до 10^6 циклов переключений.

Реле РЭС34 (рис. 3.91, табл. 3.106). Электромагнитное герметизированное реле предназначено для коммутации электрических цепей постоянного тока с напряжением 6...34 В и током 0,01...2 А и переменного тока (50...1000 Гц) с напряжением 6...115 В и током 0,2...0,5 А. Время срабатывания реле 6...8 мс, время отпускания 2,5...4,5 мс. Износостойкость реле в зависимости от мощности активной нагрузки от 10^4 до 10^5 циклов переключений.

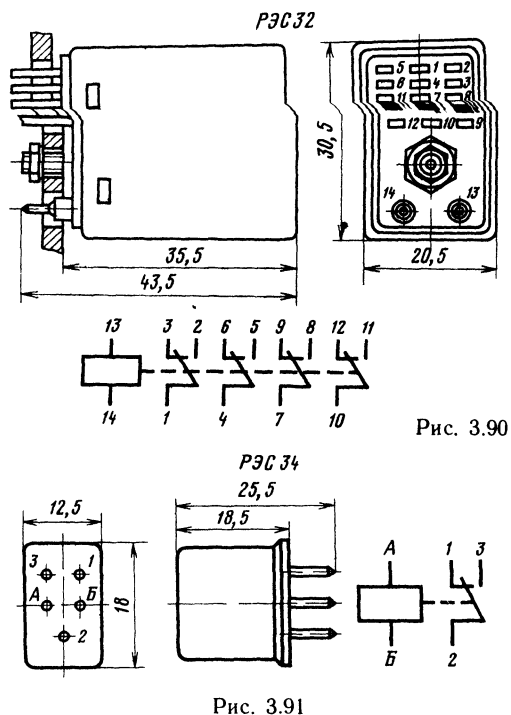


Рис. 3.90

Рис. 3.91

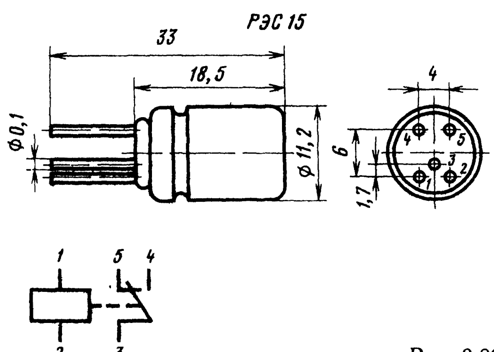


Рис. 3.89

Таблица 3.106. **Характеристики малогабаритных реле постоянного тока**

Тип	Номер паспорта	Сопротивление обмотки, Ом	Ток, мА, не менее		Рабочее напряжение, В
			срабатывания	отпускания	
РЭС15	4.591.001	1870...2530	8,5	2	23...27
	4.591.002	136...184	30	7	6...7,3
	4.591.003	280...380	21	5	6,2...7,6
	4.591.004	612...828	14,5	3,5	13,2...16,2
	4.591.005	32,4...39,6	60	14	2,6...3
	4.591.006	425...575	17	4	13,5...16,5
	4.591.007	1020...1380	11,4	3	24...28
РЭС32	4.500.341	157...210	36	8	10,8...13,2
	4.500.342	553...780	20	4	21,6...26,4
	4.500.343	595...805	21	3	27...33
	4.500.344	2250...2875	10,5	2,5	43,2...52,8
	4.500.345	2380...3080	11	2	54...66
РЭС34	4.524.371	3360...5040	8	1,2	42...52
	4.524.372	535...725	21	3,2	24...30
	4.524.373	102...138	47	7	7...13
	4.524.374	38,5...51,5	75	11,5	5,4...6,6
	4.524.380	1360...1840	13,5	2	24...30

Продолжение табл. 3.106

Тип	Номер паспорта	Сопротивление обмотки, Ом	Ток, мА, не менее		Рабочее напряжение, В
			срабатывания	отпускания	
РЭС37	4.510.067	148...201	33	8	10,8...13,2
	4.510.070	2250...2875	9,8	2,5	43,2...52,8
	4.510.072	585...748	18	3	21,6...26,4
РЭС47	4.500.408	585...742	23	3	23...30
	4.500.409	157...181	42	4	10,8...13,2
	4.500.417	585...715	21,5	2,5	21,5...34
	4.500.419	157...181	42	4	10,8...16
	4.500.421	38...44	86	12	5,5...8
РЭС48	4.590.201	540...660	23	3	20...30
	4.590.202	85...115	52	6,8	10...18
	4.590.203	298...367	30	4	16,2...19,8
	4.590.204	37...47	79	11	5...9
	4.590.205	6400...9600	8	1	90...110
	4.590.206	1130...1430	15	2	38...55
РЭС49	4.569.424	640...960	12	2,2	16...20
	4.569.425	230...310	22	4	10...16
	4.569.426	55...71	50	10	5...8
	4.569.427	1330...2185	8	1,2	22...36
РЭС52	4.555.020	705...955	12	3	18...30
	4.555.020-01	705...955	12	3	18...30
РЭС54	4.500.010	3400...4600	3	0,3	22...32
	4.500.011	3400...4600	3,6	0,4	24...33
РЭС59	4.500.020	1700...2300	2,4	0,4	9...11
	4.500.021	110...150	11	1,4	2,1...2,7
РЭС60	4.569.436	1445...1955	8,4	1,8	23...34
	4.569.437	675...925	12,4	2,6	16...20
	4.569.438	230...310	22,5	4,8	10...16
	4.569.439	55...61	51	11	5...8
	4.569.440	32...39	60	13	3,5...4,5
РЭС78	4.555.008-01	102...138	43	7	9...12
	4.555.008-02	102...138	35	5	7...12
	4.555.008-03	38...52	69	11	5,4...6,6
	4.555.008.04	20...24	110	15	4...5,2
	4.555.008-05	1275...1725	10	1,3	20...24
	4.555.008-06	3360...5040	8	1,2	44...54
	4.555.008-07	3360...5040	6	0,8	40...48
РЭС79	4.555.011	1540...1955	7,5	1	24,3...29,7
	4.555.011-01	550...670	13	1,8	13,5...16,5
	4.555.011-02	94...115	30	4	5,7...6,9
	4.555.011-03	49...60	40	5,4	3,6...4,4
	4.555.011-04	27...33	53	7	2,7...3,3
РЭС80	4.555.014	1530...1955	7,5	1,8	24,3...29,7
	4.555.014-01	550...670	13	3,2	13,5...16,5
	4.555.014-02	94...115	30	7	5,7...6,9
	4.555.014-03	49...60	40	10	3,6...4,4
	4.555.014-04	27...33	53	13	2,7...3,3
РЭС90	4.500.000-04	144...176	40	5	10,8...13,2
	4.500.000-05	144...176	40	5	10,8...13,2
	4.500.000-08	315...385	28	4	16,2...19,8
	4.500.000-09	315...385	28	4	16,2...19,8
	4.500.000-12	38...46	75	10	5,4...6,6
	4.500.000-13	38...46	75	10	5,4...6,6
	4.500.000-16	6800...9200	7	1	90...110
	4.500.000-17	6800...9200	7	1	90...110
	4.500.000-20	1700...2200	12	1,6	43...53
	4.500.000-21	1700...2200	12	1,6	43...53

Реле РЭС37 (рис 3.92, табл. 3.106). Электромагнитное зачехленное реле предназначено для коммутации электрических цепей постоянного тока с напряжением 1...300 В и током 0,001...0,3 А Время срабатывания реле не более 10 мс, время отпускания — не более 8 мс. Износостойкость реле при активной нагрузке не менее 500 000 циклов переключений.

Реле РЭС47 (рис 3.93, табл. 3.106). Электромагнитное герметизированное реле предназначено для коммутации электрических цепей постоянного тока с напряжением 5...34 В и током 0,01...3 А и переменного тока (50...2500 Гц) с напряжением 12...115 В и током 0,05...0,3 А Время срабатывания реле не более 9 мс, время отпускания — не более 4 мс. Износостойкость реле в зависимости от мощности активной нагрузки от $2 \cdot 10^3$ до 10^5 циклов переключений.

Реле РЭС48 (рис. 3.94, табл. 3.106). Электромагнитное герметизированное реле предназначено для коммутации электрических цепей постоянного тока с напряжением 6...220 В и током 0,1.. 3 А и переменного тока (50...1000 Гц) с напряжением 15...150 В и током 0,1...0,3 А.

По способу крепления реле классифицируются: РЭС48А — без угольников, РЭС48Б — с угольниками для крепления реле. Время срабатывания реле не более 10 мс, время отпускания — не более 5 мс. Износостойкость реле при активной нагрузке не менее 100 000 циклов переключений.

Реле РЭС49 (рис. 3.95, табл. 3.106). Электромагнитное герметизированное реле предназначено для коммутации электрических цепей постоянного тока с напряжением 6...150 В и током 0,001...1 А. Время срабатывания реле не более 3 мс, время отпускания — не более 2 мс. Износостойкость реле при активной нагрузке не менее 100 000 циклов переключений.

Реле РЭС52 (рис. 3.96, табл. 3.106). Электромагнитное герметизированное реле предназначено для коммутации электрических цепей постоянного тока с напряжением 2...30 В и током 0,01...1 А и переменного тока (до 10 кГц) с напряжением 0,05...115 В и током 10^{-6}...0,5 А

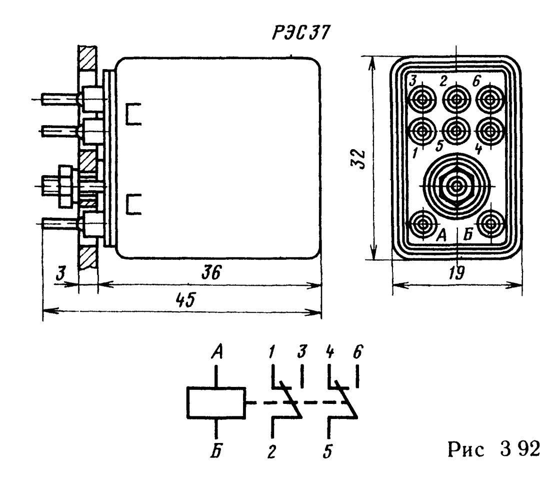


Рис 3 92

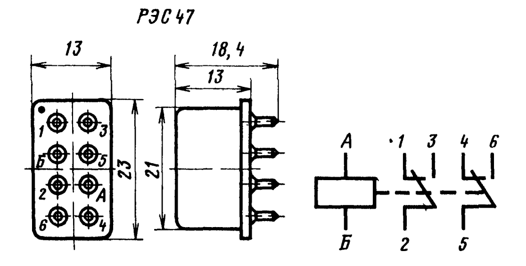
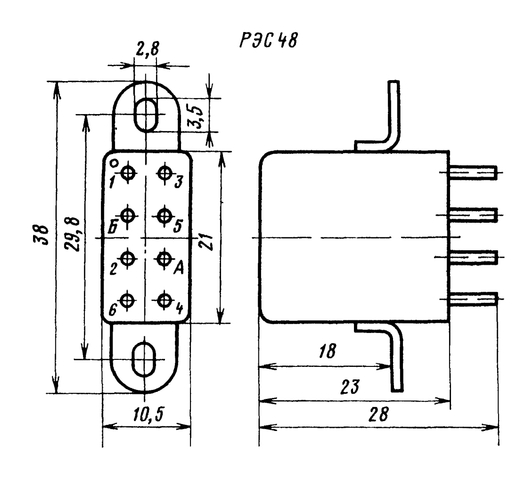


Рис 3 93



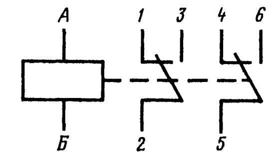


Рис 3.94

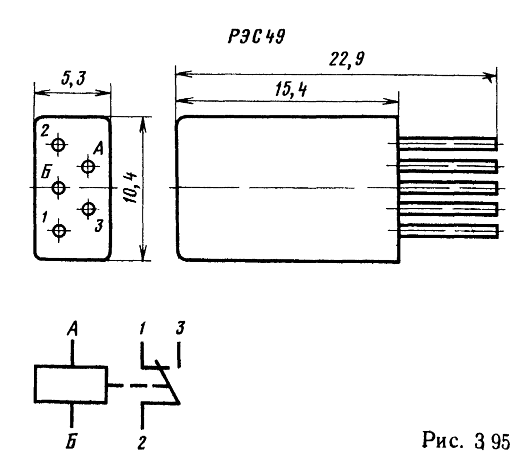


Рис. 3 95

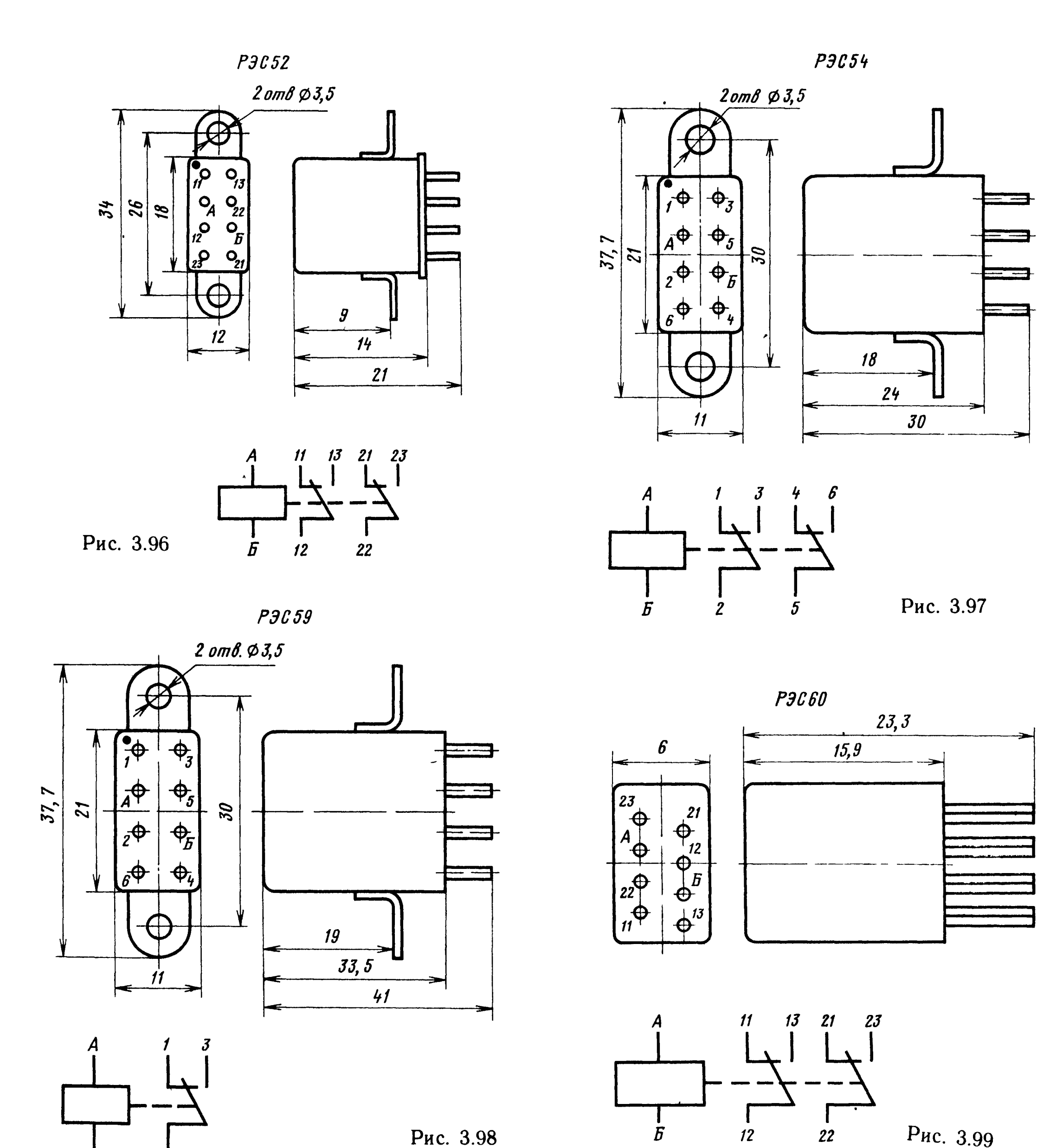


Рис. 3.96

Рис. 3.97

Рис. 3.98

Рис. 3.99

По способу крепления реле классифицируются: паспорт 4.555.020 — без угольников, 4.555.020-01 — с угольниками для крепления реле. Время срабатывания реле не более 8 мс, время отпускания — не более 5 мс. Износостойкость реле в зависимости от нагрузки от 10^3 до 10^6 циклов переключений.

Реле РЭС54 (рис. 3.97, табл. 3.106). Электромагнитное герметизированное реле предназначено для коммутации электрических цепей постоянного тока с напряжением 6...220 В и током 0,01...2 А и переменного тока (50...1000 Гц) с напряжением 6...220 В и током 0,01...0,2 А. По способу крепления реле классифицируются: РЭС54А — без угольников, РЭС54Б — с угольниками для крепления реле. Реле с номером паспорта 4.500.010 имеет одну контактную группу на переключение (контакты 1, 2, 3). Время срабатывания реле не более 14 мс, время отпускания — не более 8 мс. Износостойкость реле в зависимости от мощности активной нагрузки от $5 \cdot 10^4$ до $2{,}5 \cdot 10^5$ циклов переключений.

Реле РЭС59 (рис. 3.98, табл 3.106). Электромагнитное герметизированное реле предназначено для коммутации электрических цепей

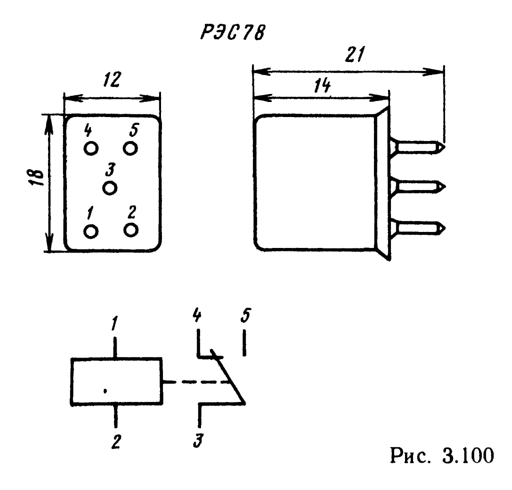


Рис. 3.100

постоянного и переменного (50...1000 Гц) токов с напряжением 6...127 В и током 0,01...1 А.

По способу крепления реле классифицируются: РЭС59А — без угольников, РЭС59Б — с угольниками для крепления реле. Время срабатывания реле не более 20 мс, время отпускания — не более 12 мс. Износостойкость реле в зависимости от мощности активной нагрузки от $5 \cdot 10^4$ до $2{,}5 \cdot 10^5$ циклов переключений.

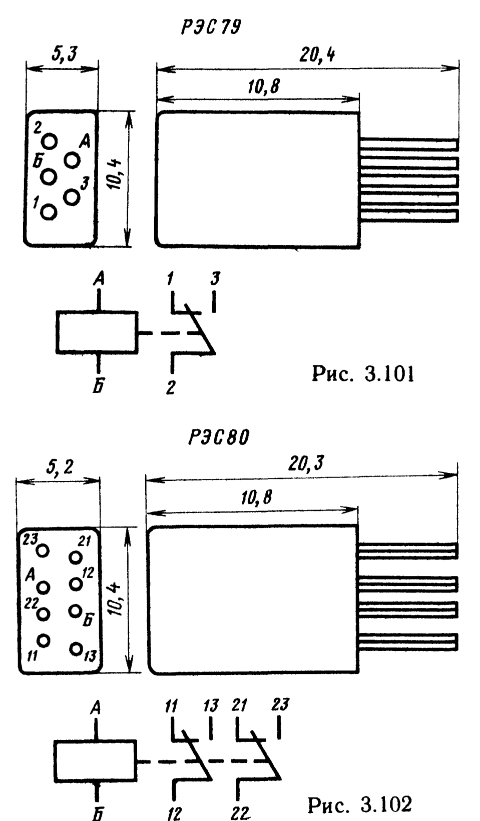


Рис. 3.101

Рис. 3.102

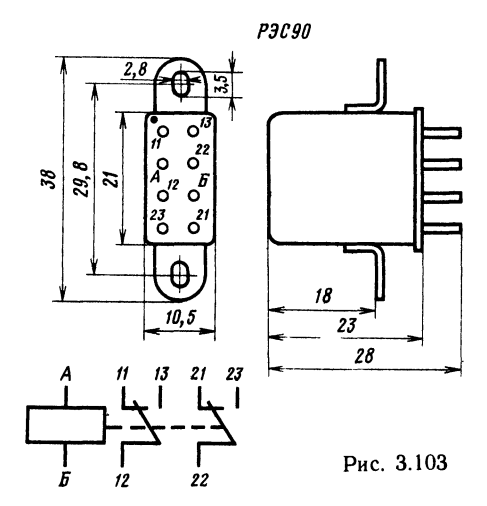


Рис. 3.103

Реле РЭС60 (рис. 3.99, табл. 3.106). Электромагнитное герметизированное реле предназначено для коммутации электрических цепей постоянного тока с напряжением 6...30 В и током 0,01...1 А и переменного тока (50...1000 Гц) с напряжением 6...120 В и током 0,01...0,15 А. Время срабатывания реле не более 5 мс, время отпускания — не более 3 мс. Износостойкость реле в зависимости от мощности активной нагрузки от 10^4 до 10^5 циклов переключений.

Реле РЭС78 (рис. 3.100, табл. 3.106). Электромагнитное герметизированное реле предназначено для коммутации электрических цепей постоянного тока с напряжением 6...34 В и током 0,01...3 А и переменного тока (до 1100 Гц) с напряжением 6...115 В и током 0,01...1 А.

Реле с номерами паспортов 4.555.008-02, 4.555.008-05, 4.555.008-07 имеют одну контактную группу на замыкание (контакты 3 и 4). Время срабатывания реле не более 6 мс, время отпускания — не более 4,5 мс. Износостойкость реле в зависимости от мощности активной нагрузки от 10^3 до 10^5 циклов переключений.

Реле РЭС79 (рис. 3.101, табл. 3.106). Электромагнитное герметизированное реле предназначено для коммутации электрических цепей постоянного тока с напряжением 6...36 В и током 0,01...0,5 А и переменного тока (50...10 000 Гц) с напряжением 6...60 В и током 0,01...1 А. Время срабатывания реле не более 5 мс, время отпускания — не более 3 мс. Износостойкость реле не менее 10 000 циклов переключений.

Реле РЭС80 (рис. 3.102, табл. 3.106). Электромагнитное герметизированное реле предназначено для коммутации электрических цепей постоянного тока с напряжением 6...36 В и током 0,01...1 А и переменного тока с напряжением 6...60 В и током 0,01...1 А. Время срабатывания реле не более 5 мс, время отпускания — не более 3 мс. Износостойкость реле — не менее 10 000 циклов переключений.

Реле РЭС90 (рис. 3.103, табл. 3.106). Электромагнитное герметизированное реле пред-

назначено для коммутации электрических цепей постоянного тока с напряжением 1,2...36 В и током 0,1..3 А и переменного тока (50...10 000 Гц) с напряжением 1,2...220 В, и током 0,01...1 А.

По способу крепления реле классифицируются так: паспорта, имеющие в окончании номера четную цифру (например, 4.500.000-04),— без угольников, нечетную цифру (например, 4.500.000-05) — с угольниками для крепления реле. Время срабатывания реле не более 10 мс, время отпускания — не более 5 мс. Износостойкость реле — не менее 10 000 циклов переключений.

Реле с магнитоуправляемыми контактами

Электромагнитные реле постоянного тока с магнитоуправляемыми контактами типа РЭС42, РЭС43, РЭС44, РЭС55, РЭС64А, РЭС91 (рис. 3.104, табл. 3.107, 3.108) предназначены для коммутации электрических цепей постоянного и переменного тока. Реле РЭС42, РЭС64А, РЭС91 имеют один, РЭС43 — два, РЭС44 — три замыкающих, герметичных магнитоуправляемых контакта. Реле РЭС55 имеет один переключающий герметичный магнитоуправляемый контакт. Реле РЭС55 по конструктивному исполнению классифицируется следующим образом: РЭС55А — с выводами, имеющими шаг координатной сетки для печатного монтажа, РЭС55Б — с выводами для объемного монтажа.

Допустимые электрические нагрузки: для реле РЭС42, РЭС43, РЭС44 рабочее напряжение (постоянное и переменное до 10 кГц) 0,05...180 В, ток $5 \cdot 10^{6}$...0,25 А, коммутируемая мощность 7,5 Вт; для реле РЭС55 — соответственно 0,05...36 В, $5 \cdot 10^{-6}$...0,25 А, 7,5 Вт; для реле РЭС64А соответственно — 0,01...30 В, 10^{-6}...0,25 А; для реле РЭС91 соответственно — 0,01. .40 В, 10^{-6}...10^{-2} А.

Износостойкость реле в зависимости от мощности активной нагрузки от 10^5 до 10^7 циклов переключений. Время срабатывания реле РЭС42, РЭС91 — не более 1 мс, РЭС43, РЭС44, РЭС64А — 1,2 мс, РЭС55 — 1,5 мс. Время отпускания реле РЭС42, РЭС64А — не более 0,3 мс, РЭС43, РЭС44, РЭС91 — 0,5 мс, РЭС55 — 2,3 мс.

Таблица 3.107. **Характеристики реле с магнитоуправляемыми контактами**

Тип	Номер паспорта	Данные обмоток		Напряжение, В		
		Обозначение выводов	Сопротивление, Ом	срабатывания	отпускания	рабочее
РЭС42	4.569.151	А—Б	697...943	6,5	1,2	10,8...13,2
	4.569.152	А—Б	3400 ..4600	14	3	24...30
РЭС43	4.569.201	А—Б	195...264	5,5	1	10,8...14
		В—Г	195 ..264	5,5	1	10,8...14
		АГ (БВ)*	391...529	5,5	1	10,8...14
		АВ—БГ**	97...132	2,8	0,5	10,8...14
	4.569.202	А—Б	1020 ..1380	11,5	2	22...32
		В—Г	1020...1380	14	2,5	24...30
		АГ (БВ)*	2040...2760	13	2,5	23...32
		АВ—БГ**	510...690	6,5	1,2	20...30
	4.569.203	А—Б	646...874	5,6	1,1	9. .11
	4.569.204	А—Б	6000...9000	23	3	43...93
РЭС44	4.569.251	А—Б	161...218	6	1	10,8...14
		В—Г	161...218	6	1	10,8...14
		АГ (БВ)*	323.. 437	6	1	10,8...14
		АВ—БГ**	80...110	3	0,5	10...13,2
	4.569.252	А—Б	765...1035	15	2,5	24...30
		В—Г	765...1035	13,5	2	22...32
		АГ (БВ)*	1530...2070	14	2,2	23...32
		АВ—БГ**	382...518	7	1,1	20...28
	4.569.253	А—Б	3040...4560	22	3	43...53

* При последовательном включении обмоток
** При параллельном включении обмоток

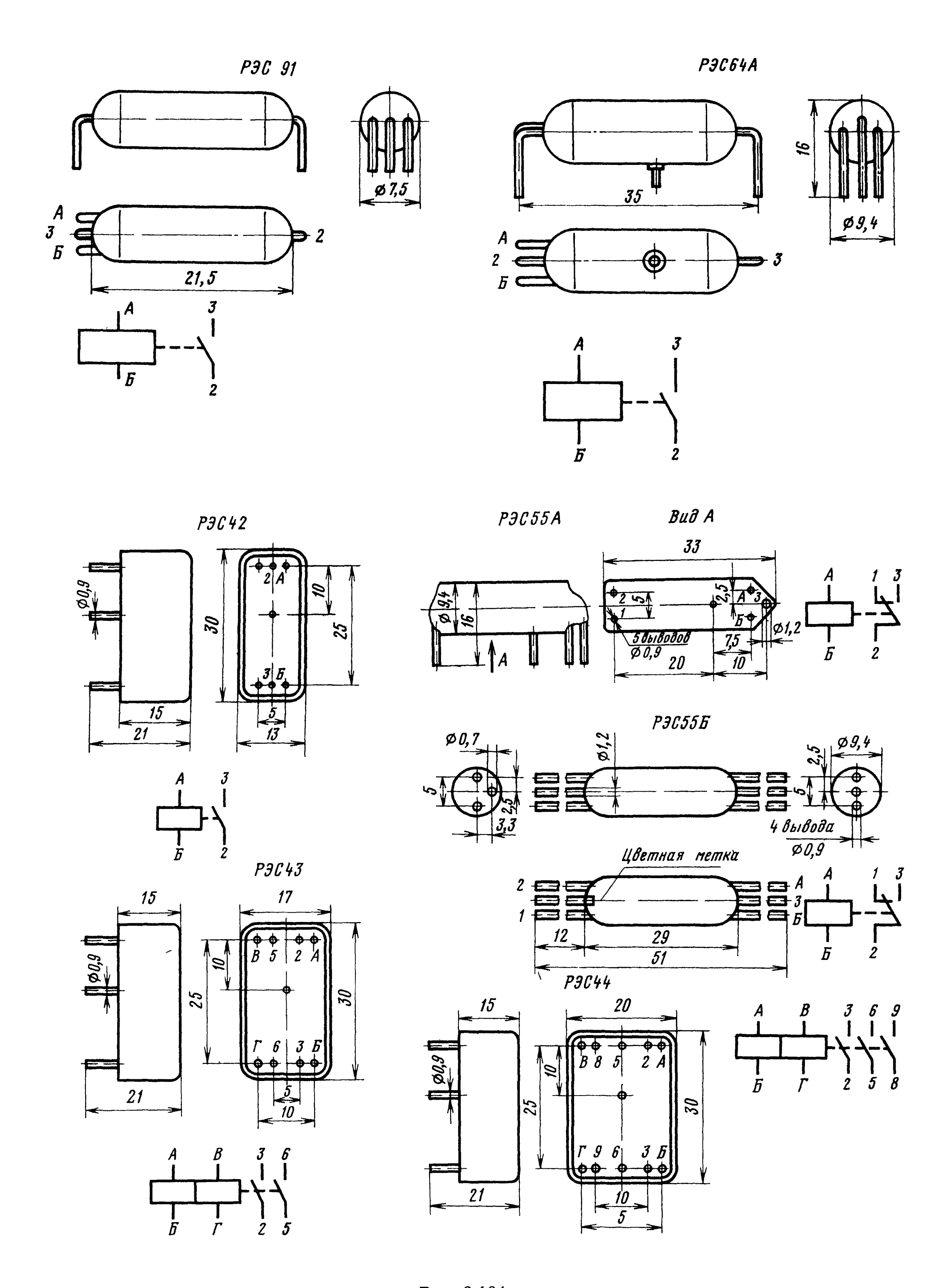

РЭС 91
ф7,5
А
3
Б
2
21,5
РЭС64А
16
35
ф9,4
РЭС42
Ф0,9
30
10
25
2 А
3 Б
15
21
5
13
РЭС55А
Вид А
33
ф9,4
16
2,5
5
5 выводов
Ф0,9
Ф1,2
7,5
20
10
РЭС55Б
Ф0,7
Ф1,2
Ф9,4
2,5
3,3
4 вывода
Ф0,9
Цветная метка
12
29
51
РЭС43
17
В 5 2 А
Г 6 3 Б
РЭС44
20
В 8 5 2 А
Г 9 6 3 Б
9
8

Рис. 3.104

Таблица 3.108. **Характеристики реле с магнитоуправляемыми контактами**

Тип	Номер паспорта	Сопротивление обмотки, Ом	Напряжение, В		
			срабатывания, не более	отпускания, не менее	рабочее
РЭС55А	4.569.601	1600...2162	16,2	1,8	24,3...29,7
	4.569.602	321...433	7,3	0,9	11,4...13,8
	4.569.603	80...110	3,3	0,4	5,4...6,6
	4.569.604	57...77	2,5	0,3	4,5...5,5
	4.569.605	31...39	1,7	0,2	2,7...3,3
	4.569.606	1600...2162	14,2	1,6	24,3...29,7
	4.569.607	321...433	6,3	0,8	11,4...13,8
	4.569.608	80...110	2,8	0,3	5,4...6,6
	4.569.609	57...77	2,1	0,2	4,5...5,5
	4.569.610	31...39	1,5	0,2	2,7...3,3
	4.569.611	321...433	5,9	0,9	9...11
	4.569.612	80...110	2,6	0,4	4,5...5,5
РЭС55Б	4.569.626	1600...2162	16,2	1,8	24,3...29,7
	4.569.627	321...433	7,3	0,9	11,4...13,8
	4.569.628	80...110	3,3	0,4	5,4...6,6
	4.569.629	57...77	2,5	0,3	4,5...5,5
	4.569.630	31...39	1,7	0,2	2,7...3,3
	4.569.631	1600...2162	14,2	1,6	24,3...29,7
	4.569.632	321...433	6,3	0,8	11,4...13,8
	4.569.633	80...110	2,8	0,3	5,4...6,6
	4.569.634	57...77	2,1	0,2	4,5...5,5
	4.569.635	31...39	1,5	0,2	2,7...3,3
РЭС64А	4.569.724	408...552	7	0,3	4,5...5,2
	4.569.725	825...1015	5	0,5	5,6...7
	4.569.726	1700...2300	4	0,4	9...11
	4.569.727	7760...11 640	2	0,2	24...30
РЭС91	4.500.560	405...555	8	1,2	4...5,5
	4.500.560—01	2080...2820	4	0,6	11,3...13,9
	4.500.560—02	4480...6720	4	0,2	24,3...29,7

Таблица 3.109. **Характеристики шаговых искателей**

Тип	Номер паспорта	Число ламелей в рядах статора					Обмотка		Число и тип контактов в группе СК
		1	2	3	4	5	номинальное сопротивление, Ом	номинальное рабочее напряжение, В	
ШИ-11	3.250.007	12	12	12	2+с. с.	—	60	60	1з
	3.250.008	12	12	12	2+с. с.	—	60	60	1з
	3.250.010	12	12	12	2+с. с.	—	25	24	—
	3.250.011	11	12	12	1+с. с.	—	50	48	1р
	3.250.012	11	11	12	1+с. с.	—	25	24	1з
	3.250.013	11	11	12	1+с. с.	—	25	24	1р
	3.250.014	11	11	12	2+с. с.	—	60	60	2з
	3.250.015	11	12	12	1+с. с.	—	50	48	1з
	3.250.016	11	12	12	12	—	50	48	1р
	3.250.017	11	12	12	2+с. с.	—	25	24	1з
	3.250.018	11	11	12	12	1+с. с.	60	60	1з, 1р
	3.250.019	12	12	12	12	12	50	48	1з, 1р
	3.250.068	12	11	12	12	—	2800	150	—
	3.250.080	11	11	12	1+с. с.	—	60	60	1з
	3.250.081	11	12	12	1+с. с.	—	60	60	1з
	3.250.082	12	12	12	12	12	25	24	1з, 1р

Окончание табл. 3.109

Тип	Номер паспорта	Число ламелей в рядах статора: 1	2	3	4	5	Обмотка: номинальное сопротивление, Ом	номинальное рабочее напряжение, В	Число и тип контактов в группе СК
ШИ-17	3.250.020	17	17	17	17	—	50	48	—
	3.250.021	17	17	17	1+с. с.	—	1 обм. 60 2 обм. 120	60	1з
	3.250.022	17	17	17	1+с. с.	—	1 обм. 60 2 обм. 120	60	2з
	3.250.023	17	17	17	17	—	60	60	1з
	3.250.024	17	17	17	17	—	1 обм. 60 2 обм. 120	60	1з
	3.250.025	17	17	17	1+с. с.	—	48	50	—
	3.250.031	17	17	17	17	—	1 обм. 60	60	1р
	3.250.075	17	17	17	1+с. с.	—	60	60	1р
	3.250.077	17	17	17	17	1+с. с.	60	60	1з
	3.250.086	17	17	17	17	1+с. с.	60	60	1з

Примечание с с — сплошной сегмент, з — замыкающие контакты, р — размыкающие контакты

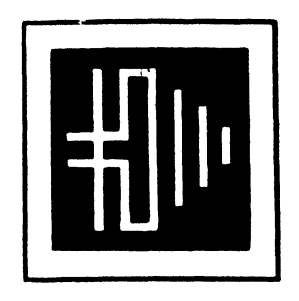
Таблица 3.110. **Характеристики шаговых искателей**

Тип	Номер паспорта	Обмотка: номинальное сопротивление, Ом	номинальное рабочее напряжение, В	Число щеток: с перекрытием	без перекрытия	Наличие контактных групп
ШИ-25/4	3.250.048	25	24	2	2	СК
	3.250.041	25	24	2	2	СК, ГК
	3.250.067	25	24	—	4	СК
	3.250.049	60	48	2	2	СК
	3.250.038	60	48	2	2	СК, ГК
	3.250.039	60	48	2	2	СК
	3.250.056	200	48	2	2	СК
	3.250.035	200	48	—	4	СК
	3.250.060	200	60	2	2	СК
	3.250.033	200	60	—	4	СК
ШИ-25/8	3.250.040	40	24	4	4	СК
	3.250.046	40	24	4	4	СК
	3.250.063	40	24	—	8	СК
	3.250.064	40	24	4	4	СК
	3.250.066	40	24	4	4	СК, ГК
	3.250.051	40	24	—	8	СК
	3.250.079	40	24	—	8	СК, ГК
	3.250.061	200	48	4	4	СК, ГК
	3.250.042	60	48	4	4	СК, ГК
	3.250.043	60	48	4	4	СК
	3.250.044	200	48	4	4	СК, ГК
	3.250.099	200	60	8	—	СК, ГК
ШИ-50/4	3.250.052	25	24	—	8	СК, ГК
	3.250.045	25	24	4	4	СК
	3.250.057	40	24	4	4	СК
	3.250.062	25	24	4	4	СК
	3.250.065	40	24	—	8	СК, ГК
	3.250.050	25	24	—	8	СК
	3.250.034	200	48	—	8	СК
	3.250.053	60	48	4	4	СК, ГК
	3.250.047	60	48	4	4	СК
	3.250.058	200	48	4	4	СК
	3.250.032	200	60	—	8	СК
	3.250.093	200	60	—	8	СК, ГК
ШИ-50/2	3.250.059	25	24	—	4	СК, ГК

Электромагнитные шаговые искатели

Электромагнитные шаговые искатели типа ШИ-11, ШИ-17, ШИ-25, ШИ-50 (табл. 3.109, 3.110) предназначены для коммутации электрических цепей с напряжением до 64 В и током до 0,1 А при активной нагрузке. Искатели типа ШИ-11 и ШИ-17 имеют электромагнитный привод прямого действия, ШИ-25 и ШИ-50 — привод обратного действия. Статор ШИ-11 имеет 4 или 5 рядов контактных полей, расположенных по дуге в 120°. Щетки — трехлучевые, угол между лучами 120°. Статор ШИ-17 имеет 4 или 5 рядов контактных полей, расположеиных по дуге в 180°. Щетки — двухлучевые, угол между лучами 180°. Статор ШИ-25/4 имеет 4, а ШИ-25/8 — 8 рядов контактных полей, расположенных по дуге в 180°. Щетки — двухлучевые, угол между лучами 180°. Статор ШИ-50/2 имеет 4, а ШИ-50/4 — 8 рядов контактных полей, расположенных по дуге в 180°. Щетки — однолучевые, причем одна половина щеток сдвинута относительно другой на 180°. Для получения 50 рабочих выходов, которые обегаются щетками последовательно за полный оборот ротора, щетку одного луча необходимо соединить со щеткой противоположного луча. Контактная группа СК искателей ШИ-25 и ШИ-50 имеет одну контактную группу на размыкание. Контактная группа ГК содержит контактную группу на замыкание и одну группу контактов на переключение.

Питание обмотки электромагнита искателей необходимо осуществлять прямоугольными импульсами напряжения с частотой не более 10 Гц или постоянным током через контактную группу СК. Время срабатывания электромагнита искателей не более 50 мс, время отпускания — не более 25 мс. Износостойкость искателей при условии чистки, смазки и подрегулировки составляет: для ШИ-11 — 150 000 полных оборотов ротора, для ШИ-17 — 225 000, для ШИ-25 и ШИ-50 без контактной группы ГК — 300 000, с контактной группой ГК — 200 000 полных оборотов ротора. Масса искателей ШИ-11 и ШИ-17 не более 290 г, ШИ-25/4, ШИ-50/2 — 750 г, ШИ-25/8 и ШИ-50/4 — 850 г. Рабочее положение искателей вертикальное электромагнитом вниз или горизонтальное отсчетным барабаном вверх.



АНТЕННЫ

РАЗДЕЛ 4

Содержание

4.1. РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Характеристики электромагнитного поля

Радиоволны, излученные антенной, представляют собой электрические и магнитные поля, меняющиеся во времени. Эти поля характеризуются в каждой точке пространства величиной и направлением и могут быть представлены в виде двух взаимно перпендикулярных векторов — электрического **E** и магнитного **H**, расположенных в плоскости, перпендикулярной направлению распространения радиоволн. Скорость распространения радиоволн в свободном пространстве составляет $3\cdot10^8$ м/с. Длина волны λ, м, и частота f, МГц, связаны соотношением $\lambda=300/f$, которым удобно пользоваться на практике.

Поляризация радиоволн

Вид поляризации радиоволн определяется формой кривой, которую описывает конец вектора **E** в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. Наиболее общим случаем является *эллиптическая* поляризация, при которой конец вектора **E**, вращаясь с частотой f, описывает эллипс. Частными случаями эллиптической поляризации являются *круговая* (конец вектора **E** описывает

окружность) и *линейная* (конец вектор E скользит по прямой, периодически меняя направление). Круговая поляризация может быть левосторонней или правосторонней. Если для наблюдателя, находящегося в точке приема, вектор E вращается против часовой стрелки, то поляризация левосторонняя, по часовой стрелке — правосторонняя. Линейная поляризация может быть горизонтальной (вектор E параллелен земле), вертикальной (вектор E перпендикулярен земле) или наклонной. При наклонной поляризации вектор E может быть разложен на синфазные горизонтальную и вертикальную составляющие.

Поляризация радиоволны, излученной передающей антенной, определяется конструкцией антенны. В зависимости от угла, под которым излучается радиоволна, поляризация может быть различной. Например, турникетная антенна, состоящая из двух взаимно перпендикулярных вибраторов, питаемых токами со сдвигом фаз 90°, излучает в плоскости расположения вибраторов линейно поляризованные волны, а в перпендикулярном направлении — волны с круговой поляризацией. Горизонтальный линейный вибратор в вертикальной плоскости, перпендикулярной оси вибратора, и в горизонтальной плоскости излучает горизонтально поляризованные волны, а в других направлениях — горизонтально поляризованные волны с вертикальной компонентой. Существенной для практики является поляризация радиоволн в направлении главного лепестка диаграммы направленности передающей антенны, так как это определяет поляризацию в точке приема.

Для обеспечения радиосвязи необходимо, чтобы поляризация приемной антенны соответствовала поляризации приходящей радиоволны. Например, в населенном пункте, где телевизионное вещание ведется на горизонтально поляризованных волнах, для приема используются горизонтально поляризованные приемные антенны, т. е. антенны, выполненные из горизонтально расположенных проводников.

Дифракция, рефракция и интерференция радиоволн

Дифракция радиоволн — явление, состоящее в том, что радиоволны способны огибать препятствия. Дифракция проявляется тем сильнее, чем больше длина волны по сравнению с размерами препятствий. Например, километровые и гектаметровые волны огибают горы, холмы, большие городские здания и т. д. В то же время волны микроволновых диапазонов не огибают эти препятствия, образуя непосредственно за ними зоны радиотени. Благодаря явлению дифракции волны огибают неровности земной поверхности, распространяясь в виде поверхностной (земной) волны на расстояния, превышающие дальность прямой видимости.

Рефракция радиоволн — явление преломления радиоволн в атмосфере вследствие уменьшения плотности воздуха с высотой, приводящее к увеличению дальности распространения поверхностной радиоволны. При среднем (нормальном) состоянии атмосферы (температура воздуха на уровне моря 15 °С, снижение температуры с высотой — 0,65 °С на 100 м, уменьшение давления — по барометрической формуле, влажность не зависит от высоты) дальность распространения поверхностной радиоволны увеличивается на 15...20 % по сравнению с дальностью геометрической видимости (случай нормальной атмосферной рефракции). При некоторых особых состояниях атмосферы, когда плотность воздуха уменьшается с высотой быстрее, чем в нормальной атмосфере, может образоваться атмосферный волновод (суперрефракция), по которому поверхностная волна распространяется в несколько раз дальше, чем при нормальной рефракции.

Интерференция радиоволн — явление взаимного наложения радиоволн, приходящих в точку приема по разным путям. Если амплитуды радиоволн, приходящих по двум путям различной длины, одинаковы, то при совпадающих фазах результирующее поле удваивается, при противоположных фазах — равно нулю.

С явлением интерференции радиоволн связаны замирания сигнала, а также появление повторных контуров на телевизионном изображении.

Поверхностные и пространственные волны

Радиосвязь может осуществляться с помощью поверхностных и пространственных радиоволн (рис. 4.1).

Поверхностная волна распространяется вдоль земной поверхности. Благодаря дифракции она огибает неровности земного шара и распространяется на расстояния, превышающие дальность прямой видимости. Чем ниже частота сигнала, тем больше дальность распространения поверхностной волны.

Пространственная волна распространяется путем однократных или многократных отражений от ионосферы и земли. Слои ионосферы: слой Д с наиболее слабой электронной концентрацией, высота 60...80 км (существует только днем), слой Е со средней электронной концентрацией, высота 90...150 км, слой F с наиболее высокой электронной концентрацией, высота 190...500 км; летом расщепляется на два

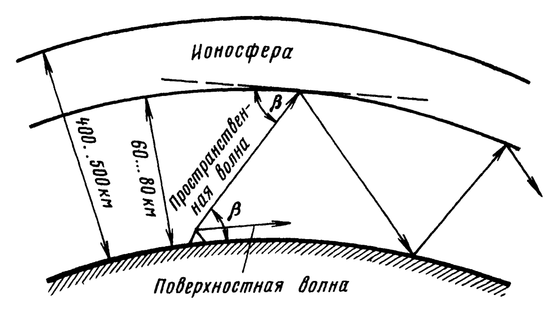


Рис. 4.1

слоя с различной электронной концентрацией: F_1 (высота 190...230 км) и F_2 (высота 230...500 км).

Критическая частота ионосферы $f_{кр}$ — наибольшая частота, при которой радиоволна, излученная вертикально вверх, еще отражается от ионосферы При $f<f_{кр}$ волна, излученная вертикально вверх, отражается от ионосферы, при $f>f_{кр}$ свободно проходит сквозь ионосферу и обратно к земле не возвращается. Критические частоты регулярно определяются ионосферными станциями по данным вертикального зондирования. Примерные значения критических частот в дневное время: слой Д — 0,3...0,6 МГц, слой Е — 3...4 МГц, слой F_1 — 4...6 МГц, слой F_2 — 5...15 МГц (в ночное время слой F_2 — 2...8 МГц).

Если пространственная радиоволна падает на ионосферу не под прямым углом, а наклонно, то отражение происходит на частоте, превышающей критическую. Превышение этой частоты над критической тем больше, чем более полого падает луч на ионосферу. Наибольшая частота, при которой радиоволна при данном угле ее падения β на ионосферу (рис. 4.1) еще может от нее отражаться, называется *максимально применимой частотой* (МПЧ) $f_м$ и определяется из соотношения $f_м = f_{кр}/\sin\beta$.

Для радиосвязи с помощью пространственных волн должны применяться волны, частота которых меньше МПЧ. С другой стороны, при уменьшении частоты возрастает затухание сигнала в слое Д со слабой электронной концентрацией. Наиболее низкую частоту, при которой затухание в слое Д не превышает допустимых пределов, называют ***наименьшей применимой частотой*** (НПЧ) $f_н$. Значение НПЧ определяют на основании прогнозов затухания радиоволн в слое Д.

Частоту для радиосвязи с помощью пространственных волн выбирают между МПЧ и НПЧ. Обычно она составляет 70...80 % от МПЧ.

Особенности распространения радиоволн различных диапазонов

Мириаметровые и километровые волны. Диапазоны частот от 3 до 30 кГц — очень низкие частоты (ОНЧ) и от 30 до 300 кГц — низкие частоты (НЧ).

Поверхностная волна обладает ярко выраженной способностью к дифракции и обеспечивает устойчивую надежную радиосвязь на больших расстояниях при использовании сложных и дорогих антенно-мачтовых сооружений. На расстоянии до 400 км распространение происходит только с помощью поверхностной волны, до 3000 км — с помощью поверхностной и пространственной волн, свыше 3000 км — только с помощью пространственной волны. Используются для радиовещания и радионавигации. Основной источник помех — атмосферные разряды.

Гектометровые волны. Диапазон частот от 300 кГц до 3 МГц — средние частоты (СЧ). Способность поверхностной волны к дифракции выражена слабее, чем на километровых волнах. В дневное время гектометровые волны распространяются только в виде поверхностной волны на расстояние до 300...500 км над сушей и до 800...1000 км над морем, а ночью — в виде поверхностиых и пространственных волн на расстояние до 4000 км. Используются для служебной и любительской связи, а также для радиовещания.

Декаметровые (короткие) волны. Диапазон частот от 3 до 30 МГц — высокие частоты (ВЧ). Основной диапазон, используемый для любительской и профессиональной радиосвязи на расстояния в несколько тысяч и десятков тысяч километров. Радиосвязь на декаметровых волнах проводится только с помощью пространственных волн, так как поверхностные волны в этом диапазоне имеют слабую способность к дифракции и кривизну земного шара практически не огибают. Рабочие частоты выбираются в интервале между МПЧ и НПЧ. Обычно в дневное время для связи применяют «дневные» волны (от 10 до 20 м), а ночью, когда ионизация становится более слабой,— «ночные» волны (от 35 до 70 м). Связь на декаметровых волнах часто нарушается из-за глубоких замираний сигнала. Причины замираний — изменения разности фаз лучей, пришедших в точку приема по разным путям (интерференционные замирания с периодом несколько секунд); поворот плоскости поляризации вследствие двойного лучепреломления в ионосфере (поляризационные замирания); повышенное затухание в слое Д в периоды максимума солнечной активности вплоть до полного поглощения пространственной волны (длительность замирания до 60 мин); исчезновение слоя F_2 в высоких широтах и снижение МПЧ в средних широтах из-за корпускулярного излучения Солнца (внешние признаки — появление полярных сияний, длительность нарушений связи — несколько дней). Меры борьбы с интерференционными и поляризационными замираниями — прием на разнесенные антенны и на разнесенных частотах, применение глубокой АРУ в приемниках, а при замираниях из-за корпускулярного излучения Солнца — переход на более низкие частоты.

При связи на декаметровых волнах возможно появление «зоны молчания» в виде кольцевой области, которая заключена между радиусом действия поверхностной волны и расстоянием, на котором появляется отраженная от ионосферы пространственная волна. Для уменьшения «зоны молчания» рабочая частота должна быть ближе к МПЧ. Качество дальней связи на верхнем уровне диапазона частот может ухудшаться также из-за того, что в точку приема кроме основного сигнала приходит с большим временным сдвигом (до 0,1 с) второй сигнал, прошедший более длинный путь по дуге большого круга (кругосветное эхо).

Микроволновые диапазоны. Включают в себя *метровые* волны (очень высокие частоты, ОВЧ, 30...300 МГц), *дециметровые* волны (ультравысокие частоты, УВЧ, 300...3000 МГц), *сантиметровые* волны (сверхвысокие частоты, СВЧ, 3...30 ГГц), *миллиметровые* волны (крайне высокие частоты, КВЧ, 30...300 ГГц), *децимиллиметровые* волны (300...3000 ГГц). Радиоволны мик-

роволновых диапазонов распространяются только с помощью поверхностной волны, так как в этих диапазонах пространственные волны от ионосферы не отражаются. Поскольку дифракция поверхностной волны в этих диапазонах почти не проявляется, распространение радиоволн происходит только в пределах *прямой видимости*, дальность которой R, км, с учетом нормальной атмосферной рефракции определяется выражением

$$R = 4{,}1\,(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),$$

где h_1 и h_2 — высоты приемной и передающей антенн, м.

На метровых волнах благодаря незначительной дифракции дальность приема может быть несколько больше, чем дальность прямой видимости, однако в зоне дифракции (зона полутени и тени) напряженность поля убывает очень быстро, прием телевизионных передач становится нестабильным и неустойчивым. На метровых волнах наблюдаются отдельные случаи дальнего и сверхдальнего приема телевизионных передач вследствие рассеяния радиоволн на неоднородностях атмосферы н отражения радиоволн от областей ионосферы с повышенной ионизацией.

На дециметровых волнах дифракция практически отсутствует, и дальность приема не превышает дальности прямой видимости. Случаи дальнего и сверхдальнего приема телевизионных передач на дециметровых волнах связывают с образованием атмосферных волноводов над тропическими морями при аномальном состоянии атмосферы (суперрефракция).

Дальность распространения метровых и дециметровых волн практически не зависит от метеоусловий.

Сантиметровые и миллиметровые волны также распространяются в пределах прямой видимости, однако дальность их распространения существенно зависит от метеоусловий. Поглощение сантиметровых волн во влажном воздухе составляет 0,01 дБ/км, на частоте 24 ГГц наблюдается резонансное поглощение в водяном паре (0,2 дБ/км), на частоте 60 ГГц — в кислороде (13 дБ/км). Поглощение и рассеяние происходит во время дождя — от 0,1 до 10 дБ/км в зависимости от интенсивности дождя

Микроволновые диапазоны используются для профессиональной и любительской связи, радиолокации, передачи телевизионных программ и УКВ-ЧМ вещания. В этих диапазонах работают спутниковые системы связи и радиорелейные линии.

Прием телевизионных передач в условиях городской застройки

Прием телевизионных передач в городе со сложным рельефом застройки сопровождается рядом специфических искажений, связанных с особенностями распространения метровых и дециметровых радиоволн, на которых ведутся телевизионные передачи.

Искажения вида «правый повтор». В точку установки приемной антенны приходят, как правило, несколько лучей — основной (прямой) луч от передающей антенны телевизионного передатчика и лучи, отраженные от зданий, металлических конструкций и т. д. На экране телевизионного приемника при этом наблюдается, помимо основного изображения, соответствующего прямому лучу, одно или несколько мешающих *повторных изображений.* Отраженные лучи проходят более длинный путь, чем основной, и попадают в точку приема позднее основного. Так как развертка электронного луча кинескопа по строкам проводится слева направо, то повторные изображения расположены правее основного. При телевизионном приеме на дециметровых волнах повторные изображения сказываются меньше, чем на метровых, так как дециметровые волны при отражении от зданий частично поглощаются в стенах. Характер отражения дециметровых волн от зданий близок к *диффузному* (рассеянному), что также способствует снижению уровня «правых повторов». Общие методы борьбы с «правыми повторами» — применение остронаправленных приемных антенн, желательно канальных (отдельная антенна на каждый телевизионный канал), тщательный выбор места установки антенн.

Искажения вида «левый повтор». При большой длине кабеля, соединяющего приемную антенну с телевизионным приемником, и недостаточно хорошей экранировке входных цепей приемника уровень сигнала на входе приемника за счет прямых наводок на кабель и входные цепи может стать соизмеримым с уровнем сигнала, поступающего из антенны. Сигнал из-за прямой наводки попадает на вход приемника раньше сигнала, принятого антенной, и наблюдается на экране в виде мешающего повторного изображения, расположенного левее основного. Методы борьбы с «левыми повторами» — тщательная экранировка входных цепей приемника.

Образование теневых зон. Метровые и дециметровые волны, на которых ведутся телевизионные передачи, отличаются слабой способностью к дифракции, поэтому непосредственно за большими зданиями образуются зоны радиотени. Удовлетворительный прием в таких зонах невозможен в связи с малым уровнем сигнала и наличием большого числа повторных изображений. Улучшить качество приема можно путем выноса антенны на ближайшие высокие здания.

Системы кабельного телевидения представляют собой телевизионные системы, обеспечивающие высококачественный прием телевизионных передач в условиях города со сложным рельефом застройки. Включают в себя антенную систему, состоящую из остронаправленных канальных антенн, головную станцию с усилительным оборудованием и разветвленную кабельную сеть — магистральные и субмагистральные кабельные линии с промежуточными линейными усилителями и домовые распределительные сети. Для антенной системы выбирается такое место, в котором обеспечивается высококачественный прием без повторных изображений.

Каждая система кабельного телевидения рассчитана на подключение большого числа приемников — до нескольких десятков тысяч. С целью улучшения качества и надежности приема при-

меняются системы кабельного телевидения с преобразованием телевизионных сигналов, принятых антенной, в модулированный сигнал лазера, передаваемый по волоконно-оптической линии связи на расстояние в несколько километров без промежуточных усилительных пунктов. Телевизионный сигнал получается путем преобразования сигнала лазера и поступает в домовые распределительные сети на частотах стандартных телевизионных каналов.

4.2. ЛИНИИ ПЕРЕДАЧ

Характеристики линий передач

Погонная емкость $C_{пог}$ — емкость на единицу длины линии.

Погонная индуктивность $L_{пог}$ — индуктивность на единнцу длины линии.

Волновое сопротивление $z_в$ — параметр, определяющий соотношение между амплитудами падающих волн напряжения и тока:

$$I_{пад}=U_{пад}/z_в.$$

Волновое сопротивление зависит от формы и размеров проводников в поперечном сечении линии, степени заполнения поперечного сечения изоляцией и ее относительной диэлектрической постоянной ε.

Соотношение между волновым сопротивлением, погонной емкостью и индуктивностью

$$z_в=\sqrt{L_{пог}/C_{пог}}.$$

Волновое сопротивление, Ом, воздушной линии можно определить через ее погонную емкость

$$z_в=3300/C_{пог\ в},$$

где $C_{пог\ в}$ — погонная емкость воздушной линии, пФ/м.

Волновое сопротивление линии, заполненной диэлектриком,

$$z_в=3300/\sqrt{\varepsilon}\,C_{пог.в} \text{ или } z_в=3300\sqrt{\varepsilon}/C_{пог\ д},$$

где $C_{пог\ д}$ — погонная емкость линии, заполненной диэлектриком, пФ/м.

Коэффициент укорочения длины волны n — параметр, показывающий, во сколько раз длина волны в линии $\lambda_л$ меньше длины волны λ_0 в свободном пространстве ($n=\lambda_0/\lambda_л$).

Для экранированных линий, целиком заполненных диэлектриком,

$$n=\sqrt{\varepsilon}.$$

Для экранированных линий с неполным заполнением диэлектриком и неэкранированных линий

$$n=\sqrt{\varepsilon_{эфф}},$$

где $\varepsilon_{эфф}$ — эффективная диэлектрическая проницаемость, равная отношению погонных емкостей линии с диэлектриком и линии того же сечения, но без диэлектрика.

Например, длина волны в коаксиальном кабеле, заполненном диэлектриком с $\varepsilon=2,3$ на частоте 50 МГц ($\lambda_0=6$ м)

$$\lambda_л=\lambda_0/\sqrt{\varepsilon}=6/\sqrt{2,3}=6/1,52=3,95 \text{ м}.$$

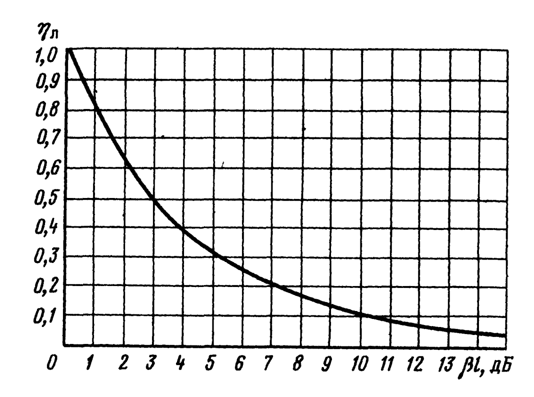


Рис. 4.2

Погонное затухание β — уменьшение напряжения, тока или мощности волн на единицу длины линии. Выражают обычно в децибелах на метр или километр (дБ/м или дБ/км).

Полное затухание в линии длиной l

$$N=\beta l.$$

Затухание можно выразить в неперах (Нп) с помощью соотношения

1 Нп=8,68 дБ.

Коэффициент полезного действия (КПД) линии

$$\eta_л=P_2/P_1,$$

где P_1, P_2 — мощности на входе и выходе линий.

КПД линии может быть определен через полное затухание линии

$$\eta_л=e^{-\frac{2\beta l}{8,68}},$$

где βl — в дБ, e — основание натуральных логарифмов (e=2,72).

Зависимость КПД линии от ее полного затухания βl приведена на рис. 4.2.

Пользуясь соотношением между волновым сопротивлением линии и ее погонной емкостью, можно определить волновое сопротивление и коэффициент укорочения какой-либо линии передачи, например, коаксиального кабеля неизвестной марки.

Пример. Определить волновое сопротивление и коэффициент укорочения коаксиального кабеля неизвестной марки.

1. Измеряем диаметр внутреннего проводника d_1 и диаметр по изоляции d_2 (рис. 4.3)

$d_1=0,72$ мм; $d_2=4,6$ мм.

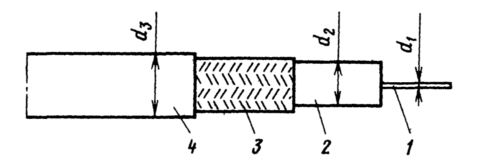


Рис. 4.3

2. Измеряем емкость C между внутренним и наружным проводниками отрезка кабеля, длина l которого должна быть не более 0,05λ, где λ — длина волны, соответствующая выбранной частоте измерения. Свободный конец отрезка кабеля должен быть разомкнут (холостой ход). Выбираем частоту $f=10$ МГц ($\lambda=300/10=30$ м), при этом $l=0{,}05\,\lambda=0{,}05\times 30=1{,}5$ м.

Измеренная емкость $C=100$ пФ.

3. Погонная емкость

$$C_{\text{пог д}}=C/l=100/1{,}5=67 \text{ пФ/м}.$$

4. Рассчитываем погонную емкость воздушного цилиндрического конденсатора, имеющего такое же поперечное сечение, что и коаксиальный кабель.

Емкость конденсатора, пФ, длиной l, м,

$$C=24{,}1l/\left(\lg\frac{D}{d}\right).$$

Погонная емкость

$$C_{\text{пог в}}=24{,}1/\left(\lg\frac{D}{d}\right)=24{,}1/\left(\lg\frac{4{,}6}{0{,}72}\right)=$$

$$=24{,}1/(\lg 6{,}35)=24{,}1/0{,}804=30 \text{ пФ/м}.$$

5. Диэлектрическая проницаемость изоляции кабеля

$$\varepsilon=C_{\text{пог д}}/C_{\text{пог в}}=67/30=2{,}3.$$

6. Волновое сопротивление

$$z_{\text{в}}=3300/\sqrt{\varepsilon}\,C_{\text{пог в}}=3300/\sqrt{2{,}3}\cdot 30=75 \quad \text{Ом}.$$

Конструкции и параметры линий передач

Радиочастотный кабель — гибкий коаксиальный кабель (рис. 4.3), состоящий из медного внутреннего проводника 1, наружного проводника 2, плетеного из медных проволок, полиэтиленовой изоляции 3 и защитной оболочки 4 из полиэтилена или полихлорвинилового пластиката. Условное наименование кабеля состоит из букв РК (радиочастотный кабель); цифры, обозначающей номинальное волновое сопротивление, Ом; цифры, обозначающей диаметр изоляции, мм, разделяющей внутренний и наружный проводники; цифры, обозначающей порядковый номер разработки. Пример условного обозначения: РК 75-4-15 (радиочастотный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом, диаметр внутренней изоляции 4 мм).

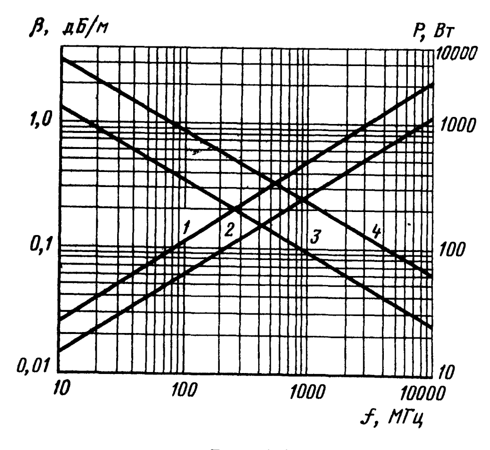


Рис. 4.4

Конструктивные и электрические параметры радиочастотных кабелей приведены в табл. 4.1. На рис. 4.4 показана зависимость от частоты погонного затухания (кривые 1, 2) и максимально допустимой пропускаемой мощности (кривые 3, 4) для наиболее распространенных кабелей. Кривые 1 и 3 относятся к кабелям РК 75-4-11, РК 75-4-12, РК 75-4-15, РК 75-4-16, кривые 2 и 4 — к кабелям РК 75-9-12, РК 75-9-13.

Поперечные сечения *жестких линий передач* различных конструкций показаны на рис. 4.5. Волновые сопротивления этих линий, Ом:

коаксиальная (концентрическая) линия (рис. 4.5, *а*)

$$z_{\text{в}}=138\lg D/d;$$

коаксиальная линия с эксцентриситетом (смещением) внутреннего проводника (рис. 4.5, *б*)

$$z_{\text{в}}=138\left[\lg\frac{D}{d}-1{,}75\left(\frac{e}{D}\right)^2\right] \text{ при } e/d<0{,}3;$$

коаксиальная линия со спиральным внутренним проводником из ленты (рис. 4.5, *в*)

$$z_{\text{в}}=z_{\text{в}0}k \text{ при } \Delta S\ll S,$$

где $z_{\text{в}0}$ — волновое сопротивление коаксиальной линии с гладким внутренним проводником диаметром d и внутренним диаметром экрана D, определяемое по формуле $z_{\text{в}0}=138\lg\frac{D}{d}$, k — поправочный множитель, учитывающий спиральную конструкцию внутреннего проводника:

$$k=\sqrt{\frac{2{,}1q^2d^2\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^2\right]}{\lg\frac{D}{d}}},$$

где q — число витков на 1 см длины;

двухпроводная линия в цилиндрическом экране (рис. 4.5, *г*) в режиме противофазного возбуждения (напряжение приложено между внутренними проводниками, экран заземлен)

$$z_{\text{в}}=276\lg\left(\frac{2a}{d}\,\frac{D^2-a^2}{D^2+a^2}\right) \text{ при } D/d>4 \text{ и } d/a>(1-2d/D);$$

двухпроводная линия в цилиндрическом экране (рис. 4.5, *д*) в режиме синфазного возбуждения (напряжение приложено между параллельно соединенными внутренними проводниками и экраном)

$$z_{\text{в}}=69\lg\left(\frac{1}{8da}\,\frac{D^4-a^4}{D^2}\right) \text{ при } D/d\gg 1 \text{ и } D/a\gg 1;$$

лента в цилиндрическом экране (рис. 4.5, *е*)

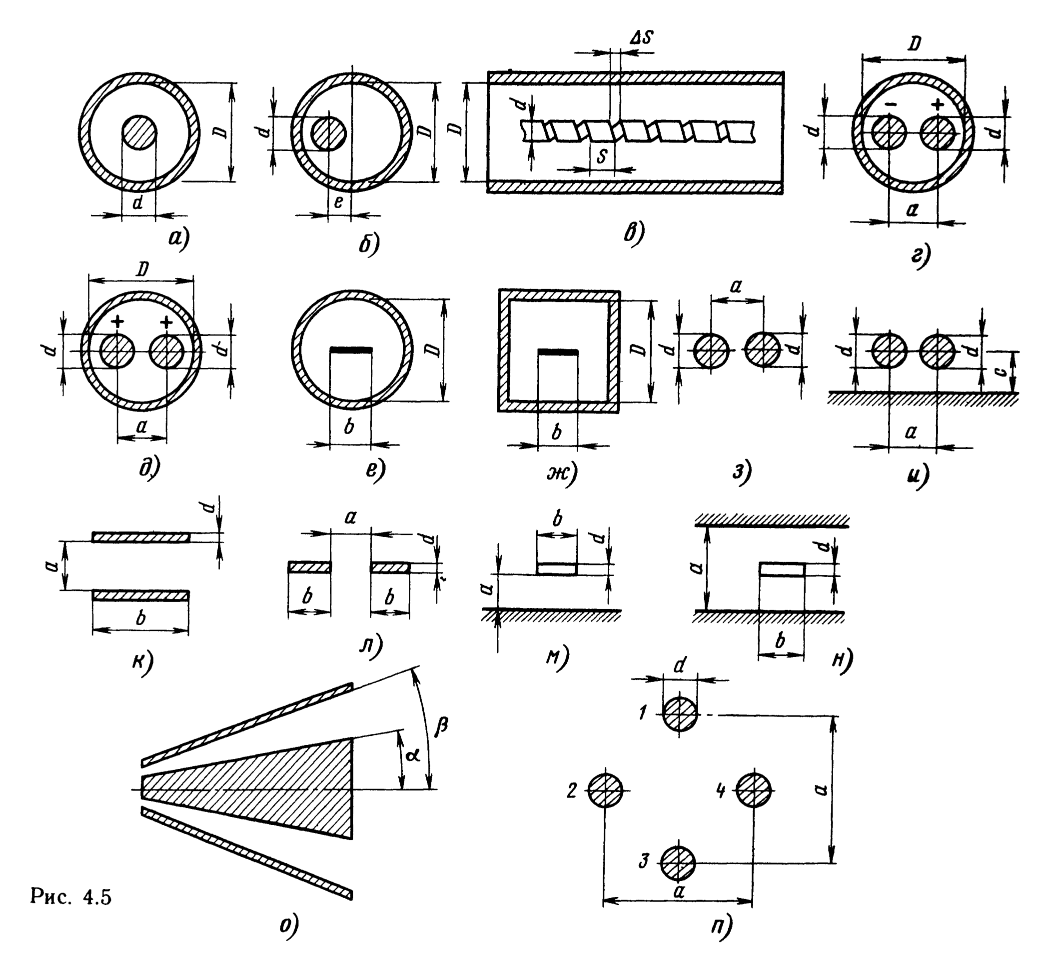


Рис. 4.5

$$z_в = 138 \lg (2d/b) \text{ при } D/b \gg 1;$$

$$z_в = 6{,}5\pi^2 / \left[\lg\left(\frac{4}{1-\frac{b}{D}} \right) \right] \text{ при } D/b \approx 1;$$

лента в экране квадратного сечения (рис. 4.5, *ж*)

$$z_в = 138 \lg (2{,}16D/b) \text{ при } D/b \gg 1,$$

$$z_в = 6{,}5\pi^2 / \left[\lg\left(\frac{3{,}06}{1-\frac{b}{D}} \right) \right] \text{ при } D/b \approx 1;$$

двухпроводная неэкранированная линия (рис 4.5, *з*)

$$z_в = 276 \lg \frac{2a}{d};$$

двухпроводная неэкранированная линия над плоскостью (рис. 4.5, *и*)

$$z_в = 276 \lg \frac{2a}{d\sqrt{1+\left(\frac{a}{2c}\right)^2}};$$

ленточная линия с проводниками, расположенными друг над другом (рис. 4,5, *к*),

$$z_в = 377a/d + b \text{ при } d \ll b \text{ и } a/b < 3;$$

ленточная линия с рядом расположенными проводниками (рис. 4.5, *л*)

$$z_в = 257 / \left[\lg\left(4 + 8\,\frac{b}{a}\right) \right] \text{ при } d \ll b \text{ и } b/a > 1,$$

$$z_в = 276 \lg \left[4 + \left(4\,\frac{a}{b}\right) \right] \text{ при } d \ll b \text{ и } b/a < 1;$$

ленточный проводник над плоскостью (рис. 4.5, *м*)

$$z_в = 138 \lg 3{,}5\,\frac{a}{b};$$

ленточный проводник между плоскостями (рис. 4.5, *н*)

$$z_в = 150 / \left(0{,}69 + 1{,}6\,\frac{b}{a}\right) \text{ при } d \ll b \text{ и } a/b < 1;$$

коническая линия (рис. 4.5, *о*)

$$z_в = \lg \left(\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} / \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right).$$

Таблица 4.1. **Радиочастотные кабели**

Марка	$z_в$, Ом	$C_{пог}$, пФ/м	n	Размер (рис 4 3)			Минимально допустимый радиус изгиба, мм	Интервал температур, °С	Масса, кг/км
				d_1, мм	d_2, мм	d_3, мм			
РК 75-1-12	75±7	67	1,52	0,17	1±0,1	1,9±0,2	20	—60...+85	5,4
РК 75-2-13	75±5	67	1,52	0,36**	2,2±0,1	3,2±0,3	30	—60...+85	14,7
РК 75-3-31***	75±5	55	1,24	0,69**	2,95±0,15	5,5±0,3	60	—60...+85	34
РК 75-4-11	75±3	67	1,52	0,72	4,6±0,2	7,3±0,4	70	—60...+85	63
РК 75-4-12	75±3	67	1,52	0,72**	4,6±0,2	7,3±0,4	70	—60...+85	63
РК 75-4-15	75±3	67	1,52	0,72	4,6±0,2	7,3±0,4	70	—40...+70	72
РК 75-4-16	75±3	67	1,52	0,78**	4,6±0,2	7,3±0,4	70	—40...+70	72
РК 75-9-12	75±3	67	1,52	1,35	9±0,3	12,2±0,8	120	—40...+70	189
РК 75-9-13	75±3	67	1,52	1,35	9±0,3	12,2±0,8	120	—60...+85	172
РК 50-1-12	50±5	100	1,52	0,32	1±0,1	1,9±0,2	20	—60...+85	5,8
РК 50-2-13	50±3	100	1,52	0,67	2,2±0,1	4,0±0,3	20	—40...+70	24,6
РК 50-3-11*	50±2,5	100	1,52	0,9	2,95±0,15	5,3±0,3	60	—60...+85	50
РК 50-4-13	50±2	100	1,52	1,37	4,6±0,2	9,6±0,6	100	—40...+70	141
РК 50-7-11	50±2	100	1,52	2,28**	7,25±0,25	10,3±0,6	100	—60...+85	134
РК 50-7-12*	50±2	100	1,52	2,28**	7,25±0,25	11,2±0,7	100	—60...+85	178
РК 50-9-12	50±2	100	1,52	2,7**	9±0,3	12,2±0,8	120	—40...+70	213

* Двойной экран
** Семижильный проводник
*** Полувоздушная изоляция

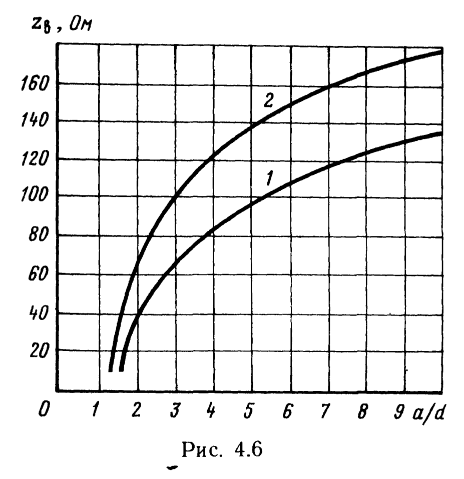


Рис. 4.6

Двухпроводная линия (рис. 4.5, *з*) применяется обычно в качестве линии передачи с волновым сопротивлением от 200 Ом и выше. Для получения более низких волновых сопротивлений используется четырехпроводная линия (рис. 4.5, *п*). Волновое сопротивление такой линии можно определить по графикам на рис. 4.6. Кривая 1 соответствует случаю, когда одним проводом служат попарно соединенные проводники 1—3, другим проводом — попарно соединенные проводники 2—4, а кривая 2 — случаю попарного соединения проводников 1—2 и 3—4.

Проводники соединяются в начале и конце линии.

Волновое сопротивление экранированных линий, заполненных диэлектриком, можно определить, разделив $z_в$ соответствующей воздушной линии на $\sqrt{\varepsilon}$.

Коэффициент укорочения длины волны n в воздушной коаксиальной линии со спиральным внутренним проводником численно равен поправочному множителю k, учитывающему спиральную структуру проводника в формуле для $z_в$ линий этого типа, приведенной выше.

Полосковые линии (рис. 4.7) применяются в качестве линий передач и элементов фидерных узлов в аппаратуре метровых, дециметровых и сантиметровых волн. Состоят из металлического основания 1, диэлектрической подложки 2 и полоскового проводника 3. Ширина металлического основания должна быть не менее 5...6 a, расстояние между соседними проводниками — не менее 3...4 a. Изготавливаются методом травления из односторонних или двусторонних листовых фольгированных материалов — фольгированного стеклотекстолита СФ-2 ($\varepsilon=6$, $\operatorname{tg}\delta=25\cdot10^{-3}$ на частоте 10^6 Гц), фольгированного фторопласта ФФ-4 ($\varepsilon=2$, $\operatorname{tg}\delta=3\cdot10^{-4}$ на частоте 10^{10} Гц),

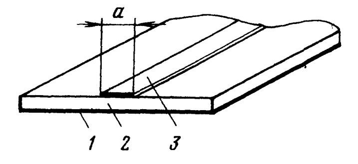


Рис. 4.7

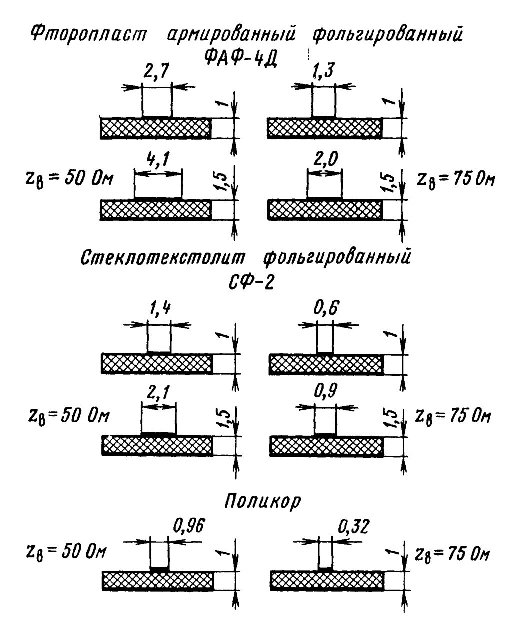


Рис. 4.8

фольгированного фторопласта со стеклотканью ФАФ-4Д СКЛ ($\varepsilon=2{,}5$; $\operatorname{tg}\delta=8\cdot10^{-4}$ на частоте 10^6 Гц), фольгированного листового материала ФЛАН (ε от 2,8 до 16 в зависимости от марки, $\operatorname{tg}\delta=15\cdot10^{-4}$ на частоте 10^{10} Гц). Применение двусторонних фольгированных материалов позволяет использовать фольгу на одной стороне платы в качестве металлического основания (земли), а на другой — для получения полоскового рисунка требуемой конфигурации.

Полосковые линии изготавливаются также методом тонкопленочной технологии на керамических подложках (поликор) с $\varepsilon=9{,}6$ и $\operatorname{tg}\delta=1\cdot10^{-4}$ на частоте 10^{10} Гц.

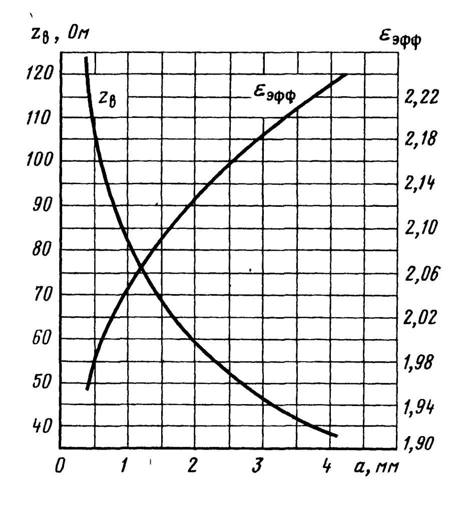


Рис. 4.9

Размеры поперечного сечения полосковых линий с $z_в=75$ Ом и $z_в=50$ Ом, изготовленных из различных материалов, приведены на рис. 4.8. Зависимость $z_в$ и $\varepsilon_{эфф}$ полосковой линии из материала ФАФ-4Д СКЛ толщиной 1 мм от ширины полоскового проводника a показана на рис 4.9.

Режимы работы линий передач

Режим работы линии передачи зависит от соотношения между $z_в$ и $z_н$ и характеризуется *коэффициентом бегущей волны КБВ и коэффициентом отражения от нагрузки* p:

$$КБВ=U_{min}/U_{max},\ p=U_{отр}/U_{пад},$$

где U_{min} — минимальное напряжение в линии (в узле напряжения), U_{max} — максимальное напряжение в линии (в пучности напряжения), $U_{отр}$ — амплитуда отраженной волны; $U_{пад}$ — амплитуда падающей волны.

Коэффициент бегущей волны и коэффициент отражения связаны соотношением

$$КБВ=(1-p)/(1+p);$$
$$p=(1-КБВ)/(1+КБВ)$$

Коэффициент стоячей волны КСВ — величина, обратная КБВ:

$$КСВ=1/КБВ.$$

Режим бегущей волны. Линия нагружена на чисто активное сопротивление, равное волновому ($z_в=z_н=R_н$), отраженная волна в линии отсутствует, КБВ=1, p=0. Входное сопротивление линии чисто активно и равно волновому ($z_{вх}=R_{вх}=z_в$), мощность, отдаваемая источником в линию, полностью поступает в нагрузку.

Режим стоячей волны. Линия нагружена на чисто реактивное сопротивление (индуктивность или емкость), либо разомкнута, либо замкнута. Падающая волна напряжения полностью отражается от конца линии ($U_{отр}=U_{пад}$), КБВ=0, p=1. Входное сопротивление линии практически чисто реактивно, перенос мощности вдоль линии отсутствует.

Промежуточный режим. Линия нагружена на чисто активное сопротивление, не равное волновому, либо на комплексное сопротивление. Падающая волна частично отражается от конца линии ($U_{отр}<U_{пад}$), $0<КБВ<1,1>p>0$, входное сопротивление линии в узлах и пучностях напряжения чисто активно (соответственно $z_в\cdot$КБВ и $z_в$/КБВ), в остальных сечениях линии — комплексное. Мощность, отдаваемая источником в линию, частично поступает в нагрузку, частично от нее отражается.

4.3. ЭЛЕМЕНТЫ ФИДЕРНЫХ ТРАКТОВ

Согласующие устройства

Четвертьволновый трансформатор (рис. 4.10, *а*) — простейшее устройство, обеспечивающее согласование двух активных сопротивлений в полосе частот ±20 % от средней частоты. Выполняется в виде отрезка линии длиной $\lambda_л/4$, где $\lambda_л$ — длина волны с учетом коэффициента укорочения $n=\sqrt{\varepsilon}$.

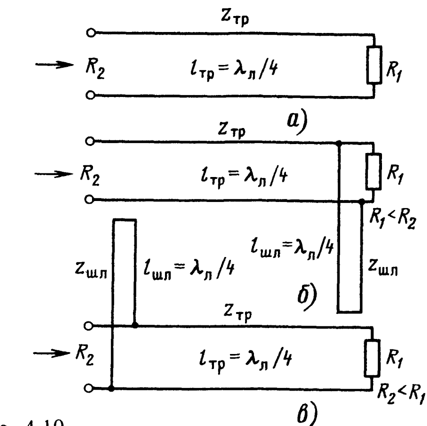


Рис. 4 10

Волновое сопротивление трансформирующего отрезка линии $z_{тр}=\sqrt{R_1R_2}$, где R_1 и R_2 — согласуемые сопротивления.

Пример. Рассчитать четвертьволновый трансформатор для согласования четырехэтажной антенны 8-го телевизионного канала ($f_{ср}=194$ МГц) типа «волновой канал» ($R_2=75/4$ Ом) с кабелем $z_в=75$ Ом ($R_1=75$ Ом).

1. Волновое сопротивление трансформатора

$$z_{тр}=\sqrt{75\cdot(75/4)}=75/2=37{,}5\ Ом.$$

Используем в качестве трансформатора два отрезка кабеля РК 75-4-15 ($z_в=75$ Ом), включенных параллельно.

2. Длина волны

$$\lambda_{ср}=300/f_{ср}=300/194=1{,}55\ м.$$

3. Длина трансформатора (для кабеля РК 75-4-15 согласно табл. 4.1 $n=\sqrt{\varepsilon}=1{,}52$)

$$l_{тр}=\lambda_{ср}/(4\sqrt{\varepsilon})=1{,}55/(4\cdot1{,}52)=0{,}25\ м.$$

Четвертьволновый трансформатор с компенсирующим шлейфом — широкополосное согласующее устройство, работающее в полосе частот ±30 % от средней частоты. Состоит из четвертьволнового трансформирующего отрезка линии и четвертьволнового короткозамкнутого отрезка линии (компенсирующий шлейф), включаемого параллельно низкоомным зажимам трансформатора, как показано на рис. 4.10, *б, в*. Волновое сопротивление шлейфа $z_{шл}$ выбирается равным волновому сопротивлению трансформатора.

Частотно-независимые аттенюаторы и согласующие устройства на резисторах

Частотно-независимые аттенюаторы (с фиксированным затуханием) и согласующие устройства на резисторах выполняются в виде несимметричных и симметричных Т-образных

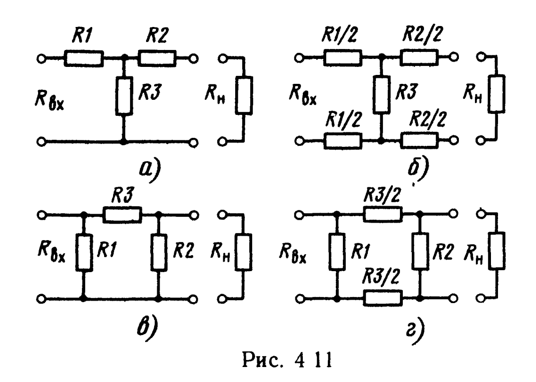


Рис. 4 11

(рис 4.11, *а, б*) или П-образных (рис 4 11, *в, г*) четырехполюсников.

Расчет *аттенюатора* по заданному волновому сопротивлению тракта $z_в$ ($R_{вх}=R_н=z_в$) и затуханию n ($n=P_{вх}/P_{вых}$, где $P_{вх}$ и $P_{вых}$ — входная и выходная мощности) проводится по формулам:

а) Т-образный аттенюатор (рис. 4 11, *а, б*)

$$R1=R2=z_в\frac{\sqrt{n}-1}{\sqrt{n}+1};$$

$$R3=z_в\frac{2\sqrt{n}}{n-1};$$

б) П-образный аттенюатор (рис. 4.11, *в, г*)

$$R1=R2=z_в\frac{\sqrt{n}+1}{\sqrt{n}-1};$$

$$R3=z_в\frac{n-1}{2\sqrt{n}}.$$

Расчет *согласующей цепи* на резисторах по заданным согласуемым сопротивлениям ($R_{вх}$ и $R_н$) и затуханию n проводится по формулам:

а) Т-образное согласующее устройство (рис. 4.11, *а, б*)

$$R1=\frac{R_{вх}(n+1)-2\sqrt{R_{вх}R_н n}}{n-1};$$

$$R2=\frac{R_н(n+1)-2\sqrt{R_{вх}R_н n}}{n-1},$$

$$R3=\frac{2\sqrt{R_{вх}R_н n}}{n-1}.$$

б) П-образное согласующее устройство (рис. 4.11, *в, г*)

$$R1=\frac{(n-1)R_{вх}\sqrt{R_н}}{(n+1)\sqrt{R_н}-2\sqrt{nR_{вх}}};$$

$$R2=\frac{(n-1)R_н\sqrt{R_{вх}}}{(n+1)R_{вх}-2\sqrt{nR_н}};$$

$$R3=\frac{n-1}{2\sqrt{n}}\sqrt{R_{вх}R_н}.$$

В большом числе практических случаев необходимо рассчитать согласующую цепь на резисторах, имеющую *минимально возможное затухание* n_{min}. Величина n_{min} определяется отношением $R_{вх}/R_н$:

$$n_{min}=\frac{2R_{вх}}{R_н}-1+2\sqrt{\frac{R_{вх}}{R_н}\left(\frac{R_{вх}}{R_н}-1\right)}.$$

После расчета n_{min} сопротивления согласующей цепи определяются по приведенным выше формулам при $n=n_{min}$.

Пример. Рассчитать несимметричный Т-образный аттенюатор (рис. 4.11, *а*) на резисторах с затуханием 12 дБ (n=16) при $z_в=75$ Ом

$$R1=R2=z_в\frac{\sqrt{n}-1}{\sqrt{n}+1}=75\frac{\sqrt{16}-1}{\sqrt{16}+1}=55\text{ Ом};$$

$$R3=z_в\frac{2\sqrt{n}}{n-1}=75\frac{2\sqrt{16}}{16-1}=40\text{ Ом}.$$

Пример. Рассчитать несимметричное Т-образное согласующее устройство на резисторах (рис. 4.11, *а*) с минимально возможным затуханием для согласования 75-омного генератора с 50-омной нагрузкой ($R_{вх}/R_н=75/50=1{,}5$)

$$n_{min}=\frac{2R_{вх}}{R_н}-1+2\sqrt{\frac{R_{вх}}{R_н}\left(\frac{R_{вх}}{R_н}-1\right)}=$$

$$=2\cdot1{,}5-1+2\sqrt{1{,}5(1{,}5-1)}=3{,}74(5{,}75\text{ дБ});$$

$$R1=\frac{R_{вх}(n_{min}+1)-2\sqrt{R_{вх}R_н n_{min}}}{n_{min}-1}=$$

$$=\frac{75(3{,}74+1)-2\sqrt{75\cdot50\cdot3{,}74}}{3{,}74-1}=44\text{ Ом};$$

$$R2=\frac{R_н(n_{min}-1)-2\sqrt{R_{вх}R_н n_{min}}}{n_{min}-1}=$$

$$=\frac{50(3{,}74+1)-2\sqrt{75\cdot50\cdot3{,}74}}{3{,}74-1}=0;$$

$$R3=\frac{2\sqrt{R_{вх}R_н n_{min}}}{n_{min}-1}=\frac{2\sqrt{75\cdot50\cdot3{,}74}}{3{,}74-1}=86\text{ Ом}.$$

В Т-образных согласующих устройствах на резисторах с минимально возможным затуханием при любых согласуемых сопротивлениях ($R_{вх}$ и $R_н$) R2=0, в П-образных R2=∞. Поэтому рассчитывать следует только сопротивления R1 и R3.

Согласующие устройства на резисторах обеспечивают двустороннее согласование — как со стороны входа, так и со стороны выхода.

Амплитудные выравниватели

Амплитудные выравниватели представляют собой четырехполюсники, затухание которых меняется в зависимости от частоты по определенному закону. Назначение выравнивателей — коррекция частотных характеристик длинных кабельных линий, а также других радиотехнических устройств. Выравниватели не должны вносить рассогласования в цепи, поэтому схемы выравнивателей строятся так, чтобы их входное сопротивление не зависело от частоты. В некоторых выравнивателях частотно-независимы как входные, так и выходные сопротивления.

На рис. 4.12, *а, б* показаны схемы выравнивателей, затухание которых монотонно возрастает

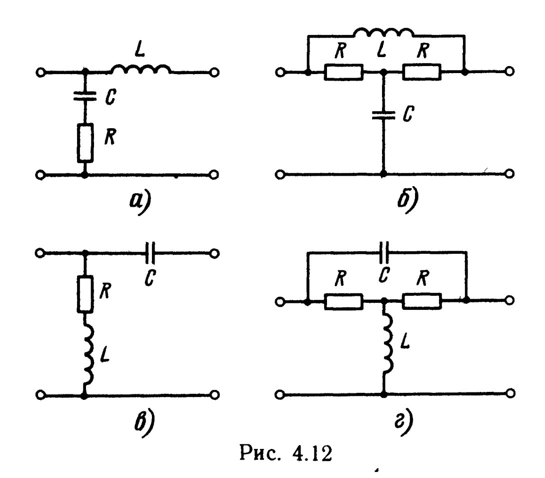


Рис. 4.12

при увеличении частоты. Выравниватель по схеме на рис. 4.12, *а* имеет частотно-независимое входное сопротивление, а на рис. 4.12, *б* — частотно-независимые входное и выходное сопротивления.

На рис. 4.12, *в, г* приведены схемы выравнивателей, затухание которых монотонно уменьшается при увеличении частоты. При этом выравниватель по схеме на рис. 4.12, *в* имеет частотно-независимое входное сопротивление, а на рис. 4.12, *г* — частотно-независимые входное и выходное сопротивления. Выравниватели рис. 4.12, *в, г* могут быть использованы для коррекции частотных характеристик длинных кабельных линий, затухание которых возрастает при увеличении частоты.

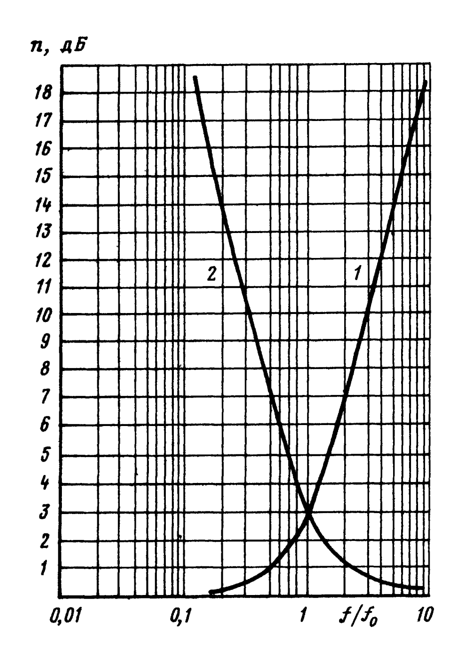


Рис. 4.13

Частотные характеристики затухания выравнивателей показаны на рис. 4.13. Кривая 1 относится к схемам на рис. 4.12, *а, б,* кривая 2 — на рис. 4.12, *в, г.* На рис. 4.13 по горизонтальной оси отложена в логарифмическом масштабе обобщенная частота f/f_0 (f — текущая частота, f_0 — частота, на которой затухание выравнивателя составляет 3 дБ), по вертикальной оси — затухание выравнивателя n, дБ.

Выбор схемы и расчет выравнивателя проводятся в следующем порядке.

1. В соответствии с заданным характером зависимости затухания от частоты и требованиями к входному и выходному сопротивлениям выбираем одну из схем, показанных на рис. 4.12, *а—г*.

2. Определяем отношение крайних рабочих частот f_2/f_1 ($f_2 > f_1$).

3. По соответствующей частотной характеристике затухания подбираем такие значения минимального n_{min}, дБ, и максимального n_{max}, дБ, затуханий, при которых обеспечивается требуемый перепад затуханий Δn ($\Delta n = n_{max} - n_{min}$) при заданном отношении крайних рабочих частот.

4. Определяем значение n_{max} в разах по мощности по формуле

$$\lg n_{max} = n_{max}(\text{дБ})/10.$$

5. Рассчитываем частоту f_0, Гц,

$f_0 = f_1\sqrt{n_{max} - 1}$ — для схем рис. 4.12, *а, б;*
$f_0 = f_2/\sqrt{n_{max} - 1}$ — для схем рис. 4.12, *в, г.*

6. Определяем элементы выравнивателя (L, Гн; C, Ф; R, Ом)

$$L = z_в/2\pi f_0; \quad C = 1/2\pi f_0 z_в; \quad R = z_в.$$

Пример. Выбрать и рассчитать выравниватель с частотно-независимыми входным и выходным сопротивлениями для коррекции частотной характеристики затухания кабельной линии. Крайние рабочие частоты $f_1 = 40$ МГц, $f_2 = 640$ МГц, перепад затуханий $\Delta n = 12$ дБ, волновое сопротивление линии $z_в = 75$ Ом.

1. Учитывая, что для коррекции частотной характеристики затухания кабельной линии необходим выравниватель, затухание которого уменьшается при увеличении частоты, следует выбрать схему рис. 4.12, *а* или *б*. Выбираем схему рис. 4.12, *б*, так как она позволяет получить требуемые частотно-независимые входное и выходное сопротивления. Частотная характеристика затухания выравнивателя приведена на рис. 4.13 (кривая 1).

2. Отношение крайних рабочих частот

$$f_2/f_1 = 640/40 = 16.$$

3. По частотной характеристике находим, что перепад затуханий 12 дБ при $f_2/f_1 = 16$ может быть получен при $n_{min} = 0{,}5$ дБ, $n_{max} = 12{,}5$ дБ.

4. Значение n_{max} по мощности

$$\lg n_{max} = n_{max}(\text{дБ})/10 = 12{,}5/10 = 1{,}25;$$
$$n_{max} = 18$$

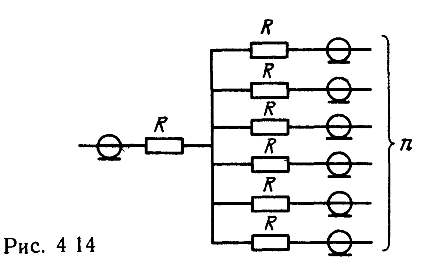


Рис. 4 14

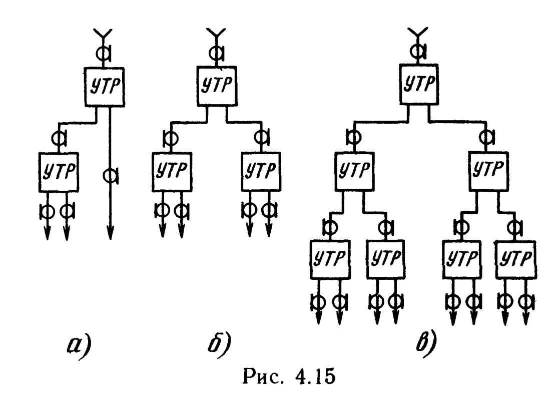


Рис. 4.15

5. Частота

$f_0 = f_1\sqrt{n_{max}-1} = 40\sqrt{18-1} = 165$ МГц

6. Элементы:

$L = z_в/2\pi f_0 = 75/2\cdot3{,}14\cdot165\cdot10^6 = 7{,}5\times$
$\times10^{-8}$ Гн $= 0{,}075$ мкГн,
$C = 1/2\pi f_0 z_в = 1/2\cdot3{,}14\cdot165\cdot10^6\cdot75 = 13\times$
$\times10^{-12}$ Ф $= 13$ пФ,
$R = z_в = 75$ Ом.

Разветвители телевизионных сигналов

Разветвители предназначены для подключения нескольких телевизионных и радиовещательных (УКВ ЧМ) приемников к абонентскому кабелю системы коллективного приема телевидения (СКПТ) или к индивидуальной антенне.

Разветвитель на резисторах (рис. 4.14) — простой по конструкции разветвитель, согласованный как со стороны входа, так и со стороны любого из выходов.

Сопротивление

$$R = z_в \frac{n-1}{n+1},$$

где n — число подключаемых приемников.

Напряжение на входе каждого приемника

$$U_{пр} = U_{вх}/n,$$

где $U_{вх}$ — напряжение на входе разветвителя.

Разветвитель на резисторах может быть использован для деления мощности сигнала в любой полосе частот.

Устройство телевизионное разветвительное УТР-2.Н2, серийно выпускаемое промышленностью, позволяет подключить два телевизора к абонентскому кабелю СКПТ или к индивидуальной антенне. Основное достоинство устройства — отсутствие потерь и наличие электрической развязки (переходного затухания) между выходами, что исключает взаимовлияние телевизоров. Может быть использован в полосе частот от 48,5 до 100 и от 174 до 230 МГц на каналах 1...12 телевизионного вещания и на всех каналах УКВ ЧМ вещания, КБВ со стороны входа и каждого из выходов — не менее 0,75, ослабление между входом и каждым из выходов — не более 4,5 дБ, переходное затухание между выходами — не менее 18 дБ. Вход и выходы устройства рассчитаны на подключение радиочастотного кабеля с $z_в = 75$ Ом.

Каскадным соединением нескольких разветвительных устройств УТР-2.Н2 можно оборудовать небольшую систему коллективного приема телевидения в сельской местности. Структурные схемы таких систем на три, четыре и восемь приемников приведены на рис 4 15, *а—в*.

4.4. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕНН

Характеристики антенн

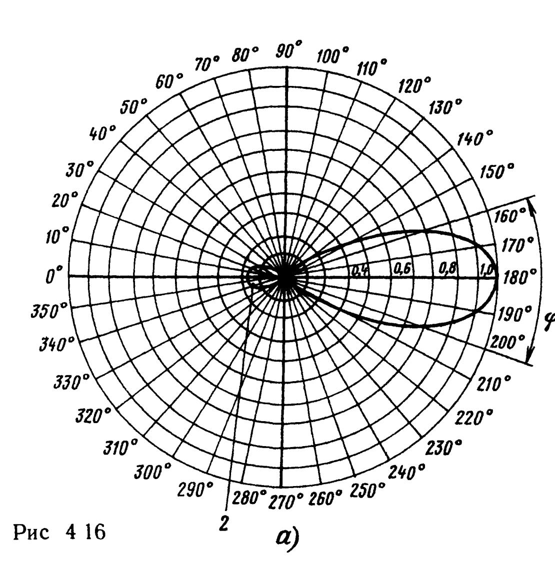
Любая антенна является обратимой и может быть использована как для передачи, так и для приема, при этом электрические характеристики антенны остаются неизменными. Поэтому для определения свойств приемной антенны можно рассмотреть ее в режиме передачи и наоборот Например, внутреннее сопротивление источника ЭДС, эквивалентного приемной антенне, равно входному сопротивлению этой же антенны в режиме передачи, направленные свойства антенны в режимах приема и передачи одинаковы и т. д.

Сопротивления излучения и потерь R_Σ и $R_п$ характеризуют мощность излучения P_Σ и мощность потерь $P_п$. Мощность потерь равна сумме мощностей потерь в проводах антенны, в изоляторах и в земле (вследствие токов смещения в земле, в антеннах НЧ, СЧ и ВЧ). Так как ток вдоль проводников антенны распределен неравномерно, то эти сопротивления имеют смысл только в том случае, если они отнесены к определенным сечениям антенны. Обычно сопротивления излучения и потерь относят либо к максимальному току в антенне I_{max} (ток в пучности), либо к току на входных зажимах антенны $I_{вх}$.

Мощности излучения и потерь

$$P_\Sigma = I^2_{max} R_{\Sigma\ max} = I^2_{вх} R_{\Sigma\ вх};$$
$$P_п = I^2_{max} R_{п\ max} = I^2_{вх} R_{п\ вх},$$

где $R_{\Sigma\ max}$ и $R_{п\ max}$ — сопротивления излучения и потерь, отнесенные к току в пучности, $R_{\Sigma\ вх}$ и $R_{п\ вх}$ — сопротивления излучения и потерь, отнесенные к току на клеммах антенны. У полуволнового вибратора пучность тока находится на входных зажимах, поэтому для него $R_{\Sigma\ max} = R_{\Sigma\ вх}$ и $R_{п\ max} = R_{п\ вх}$.



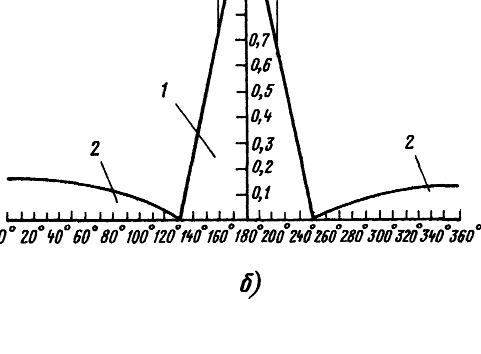


Рис 4 16

Входное сопротивление антенны $z_{вх}$ является в общем случае комплексным, т. е. может быть представлено в виде последовательно соединенных активной $R_{вх}$ и реактивной $X_{вх}$ (емкостной или индуктивной) составляющих. Входное сопротивление настроенной в резонанс антенны чисто активно. Например, входное сопротивление линейного полуволнового вибратора составляет 75 Ом, волнового — примерно 250 Ом.

Активная составляющая входного сопротивления $R_{вх} = R_{\Sigma\,вх} + R_{п\,вх}$.

Коэффициент полезного действия (КПД) антенны $\eta_а = P_\Sigma/(P_\Sigma + P_п)$.

КПД может быть выражен через сопротивления излучения и потерь $\eta_а = R_\Sigma/(R_\Sigma + R_п)$.

В антеннах ВЧ и микроволновых диапазонов токи смещения в земле практически отсутствуют, $R_п \ll R_\Sigma$ и $\eta_а \approx 1$. В антеннах НЧ и СЧ $R_п$ одного порядка с R_Σ и $\eta_а = 0{,}2...0{,}5$.

Характеристика направленности — зависимость ЭДС в антенне либо мощности в нагрузке от угла прихода сигнала.

Диаграмма направленности — графическое изображение характеристики направленности в полярных (рис. 4.16, *а*) или прямоугольных (рис 4 16, *б*) координатах. Достаточно полное представление о направленных свойствах антенны дают диаграммы направленности в двух взаимно перпендикулярных плоскостях — горизонтальной (азимутальной) и вертикальной (меридиональной).

При построении диаграмм направленности максимальное значение ЭДС в антенне или мощности в нагрузке принимают равным 1 или 0 дБ (рис. 4 16, *а, б*), что дает возможность сравнивать различные антенны по их направленным свойствам. Такие диаграммы направленности называют *нормированными*.

Область 1 на диаграмме направленности (рис. 4.16, *б*) называют *основным (главным) лепестком*, области 2 — *задними и боковыми лепестками*. Направленные свойства антенны оцениваются *углом раствора (шириной) основного лепестка и уровнем задних и боковых лепестков*.

Угол раствора основного лепестка φ — угол, в пределах которого ЭДС в антенне уменьшается до уровня 0,7 (мощность в нагрузке — до уровня 0,5). На диаграммах (построенных в дБ) угол раствора определяется по уровню минус 3 дБ.

Уровень задних и боковых лепестков γ — отношение уровня наибольшего заднего или бокового лепестка к уровню основного лепестка в относительных единицах или децибелах.

Диаграмму направленности по ЭДС иногда называют диаграммой направленности *«по полю»*, так как ЭДС в антенне пропорциональна напряженности поля в точке приема.

Чем меньше угол раствора главного лепестка и уровень задних и боковых лепестков, тем больше уровень сигнала на выходе антенны и выше помехозащищенность приема.

Коэффициент направленного действия (КНД) D — параметр, показывающий, во сколько раз мощность, которую может отдать в нагрузку согласованная антенна при приеме со стороны максимума главного лепестка диаграммы направленности, больше мощности, которую может отдать в нагрузку согласованная эталонная антенна. В качестве эталонной антенны служат простейшие антенны — либо воображаемый изотропный (полностью ненаправленный) излучатель, либо полуволновый вибратор. КНД относительно изотропного излучателя больше КНД относительно полуволнового вибратора в 1,64 раза (или на 2,15 дБ). Например, если КНД какой-либо антенны относительно изотропного излучателя равен 4 (6 дБ), то КНД той же антенны относительно полуволнового вибратора составляет 4/1,64, т. е. 2,42 (3,85 дБ).

КНД характеризует *предельно возможный* выигрыш по мощности, который может дать антенна благодаря своим направленным свойствам в предположении, что в ней полностью отсутствуют потери. В действительности любая антенна обладает потерями и даваемый ею выигрыш по мощности всегда меньше предельно возможного. Реальный выигрыш антенны по мощности относительно изотропного излучателя или полуволнового вибратора характеризуется *коэф-*

фициентом усиления по мощности K_p, который связан с КНД соотношением

$$K_p = D\eta_a.$$

Для антенн ВЧ и микроволновых диапазонов $\eta_a \approx 1$ и $K_p \approx D$. Для антенн других диапазонов $K_p = (0{,}2...0{,}5)D$.

Ниже значения D и K_p указаны по отношению к полуволновому вибратору.

Коэффициент усиления по напряжению

$$K_и = \sqrt{K_p}.$$

КНД и коэффициент усиления, дБ,

$$D = 10 \lg D,$$
$$K = 10 \lg K_p \text{ или } K = 20 \lg K_и.$$

По этим же формулам можно определить значения D, K_p и $K_и$ в относительных единицах, зная соответствующие значения в децибелах.

Если известны углы раствора φ и ψ главного лепестка диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях, то КНД может быть приближенно определен по формулам

$$D = 4\pi/(\varphi\psi),$$

где φ и ψ — в радианах, $\pi = 3{,}14$;

$$D = 41270/(\varphi\psi),$$

где φ и ψ — в градусах.

Действующая длина $h_д$ — параметр, имеющий размерность длины и позволяющий по известной напряженности поля определить ЭДС на зажимах антенны при приеме со стороны максимума главного лепестка диаграммы направленности:

$$e = Eh_д,$$

где $h_д$, м; E, В/м; e, В.

Для симметричного линейного вибратора длиной l

$$h_д = \frac{\lambda}{\pi} \operatorname{tg} \frac{\pi l}{2\lambda}.$$

В общем случае

$$h_д = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{K_p R_a}{73}}.$$

Для полуволнового линейного вибратора ($K_p = 1$, $R_{вх} = 73$ Ом) $h_д = \lambda/\pi$, полуволнового петлевого вибратора ($K_p = 1$, $R_{вх} = 292$ Ом) $h_д = 2\lambda/\pi$.

Эффективная поверхность S_a — параметр, имеющий размерность площади и позволяющий по известной напряженности поля определить мощность P, отдаваемую согласованной антенной в нагрузку:

$$P = E^2 S_a/(120\pi),$$

где P, Вт; E, В/м; S_a, м².

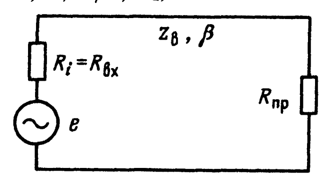


Рис. 4.17

В этой формуле E — эффективное значение.

Эффективная поверхность изотропного излучателя равна $0{,}08\lambda^2$, полуволнового линейного и петлевого вибраторов ($K_p = 1$) — $0{,}13\lambda^2$, волнового вибратора ($K_p = 1{,}46$) — $0{,}19\lambda^2$.

Эквивалентная схема согласованной приемной антенны (рис. 4.17) включает в себя источник ЭДС e с внутренним сопротивлением R_i, равным входному сопротивлению антенны, фидерную линию с волновым сопротивлением $z_в$ и погонным затуханием β, входное сопротивление приемника $R_{пр}$ ($R_{пр} = z_в = R_{вх}$).

Мощность на входе приемника

$$P_{пр} = (E^2\lambda^2 K_p \eta_л)/290\pi^2.$$

Напряжение на входе приемника

$$U_{пр} = (E\lambda\sqrt{K_p R_{пр} \eta_л})/17\pi.$$

Если E, В/м; λ, м; $R_{пр}$, Ом, то $P_{пр}$, Вт; $U_{пр}$, В.

Пример. Рассчитать напряжение на входе телевизионного приемника ($R_{пр} = 75$ Ом) на несущей частоте изображения 8-го телевизионного канала ($f_{из} = 191{,}75$ МГц) при напряженности поля 3,8 мВ/м. Приемная антенна — типа «волновой канал» с коэффициентом усиления 8 дБ, фидерная линия — кабель РК 75-4-15 длиной 30 м.

1. Длина волны

$$\lambda = 300/f\,(МГц) = 300/191{,}75 = 1{,}56 \text{ м}.$$

2. Коэффициент усиления в разах по мощности

$$K(дБ) = 10 \lg K_p; \quad \lg K_p = K(дБ)/10 = 8/10 = 0{,}8; \quad K_p = 6{,}3.$$

3. Погонное затухание в кабеле РК 75-4-15 на несущей частоте изображения 8-го канала ($f_{из} = 191{,}75$ МГц) согласно кривой 1 на рис. 4.4

$$\beta = 0{,}18 \text{ дБ/м}.$$

4. Полное затухание

$$\beta l = 0{,}18 \cdot 30 = 5{,}4 \text{ дБ}.$$

5. Коэффициент полезного действия фидерной линии при $\beta l = 5{,}4$ дБ согласно рис. 4.2.

$$\eta_л = 0{,}28.$$

6. Напряжение на входе приемника

$$U_{пр} = \frac{E\lambda\sqrt{K_p R_{пр} \eta_л}}{17\pi} = \frac{3{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}56\sqrt{6{,}3 \cdot 75 \cdot 0{,}28}}{17 \cdot 3{,}14} = 1{,}26 \cdot 10^{-3} \text{ В} = 1{,}26 \text{ мВ}.$$

4.5. ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ АНТЕННЫ

Слабонаправленные антенны

Полуволновый линейный разрезной вибратор (рис. 4.18), **полуволновый линейный неразрезной вибратор** (рис. 4.19) **и полуволновый петлевой вибратор** (рис. 4.20) — простейшие

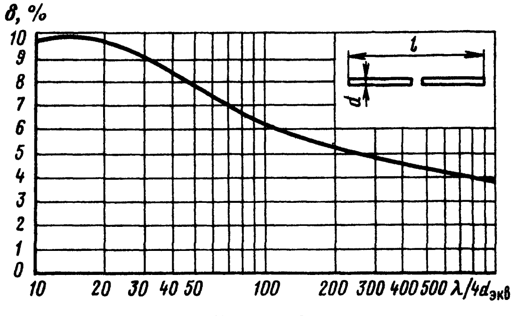


Рис. 4.18

слабонаправленные антенны, обладающие примерно одинаковыми электрическими параметрами. Применяются как самостоятельные антенны для приема телевизионных передач на небольших расстояниях от телевизионных центров и ретрансляторов при отсутствии помех и отраженных сигналов, а также в качестве активных вибраторов в многоэлементных направленных антеннах. Диаграмма направленности в плоскости, проходящей через продольную ось вибратора — «восьмерка», в плоскости, перпендикулярной вибратору,— окружность. Рабочая полоса частот ±20 % от средней частоты.

Длина вибратора

$$l=\frac{\lambda_{ср}}{2}\left(1-\frac{\delta(\%)}{100}\right),$$

где $\lambda_{ср}$ — средняя длина волны рабочей полосы частот, $\delta(\%)$ — коэффициент укорочения, зависящий от отношения $\lambda_{ср}/d_{экв}$ ($d_{экв}$ — эквивалентный диаметр вибратора) и определяемый по графику рис. 4.18. Для линейного разрезного и неразрезного вибраторов (рис. 4.18 и 4.19) $d_{экв}=d$, для петлевого (рис. 4.20), изготовленного из двух трубок равного диаметра ($d_1=d_2=d$), $d_{экв}=\sqrt{2ds}$, где s — расстояние между центрами трубок.

Входное сопротивление линейного разрезного вибратора составляет 73 Ом, а неразрезного зависит от положения точек питания и определяется по графику рис. 4.19. Входное сопротивление петлевого вибратора $R_{вх}=73\,m$, где m — коэффициент, зависящий от отношения d_2/d_1 и показывающий, во сколько раз входное сопротивление петлевого вибратора больше входного сопротивления линейного разрезного вибратора.

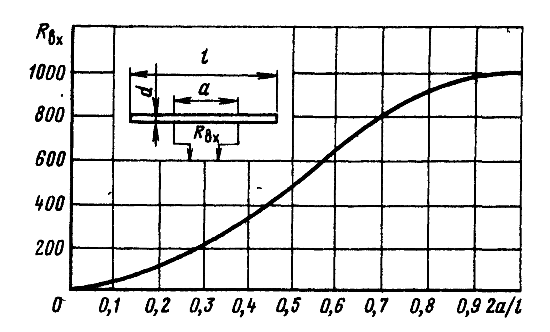


Рис. 4.19

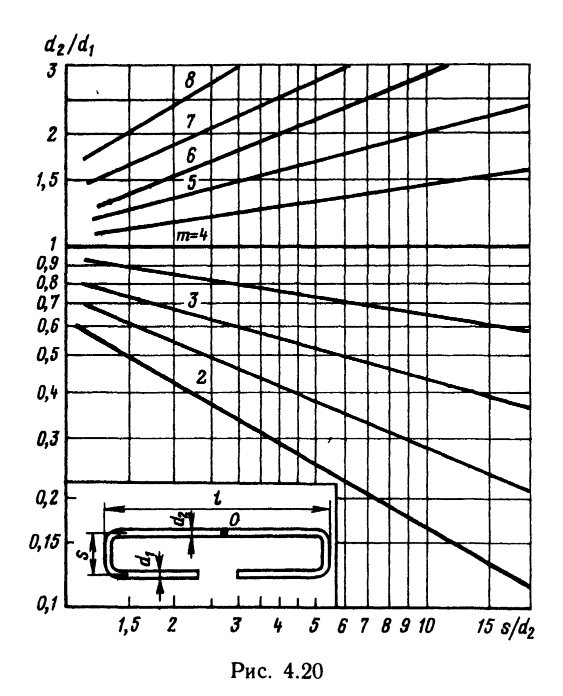


Рис. 4.20

Значение коэффициента m может быть определено по графикам на рис. 4.20. Если $d_2=d_1$, то m=4 и входное сопротивление петлевого вибратора составляет 292 Ом.

Основное достоинство петлевого вибратора — возможность регулировки входного сопротивления в широких пределах изменением отношения диаметров трубок, что особенно важно при настройке многоэлементных направленных антенн. Крепление петлевого вибратора к любой опоре, металлической или деревянной, может производиться без изолятора в точке нулевого потенциала (точка 0 на рис. 4.20).

Вибраторы метровых волн изготавливаются из трубок диаметром от 10 до 30 мм, дециметровых волн — от 6 до 14 мм. Зазор между внутренними торцами соответственно 60...80 и 30...40 мм.

Подключение коаксиальных кабелей к вибраторам проводится через *согласующе-симметрирующие устройства,* которые обеспечивают согласование вибратора с кабелем, а также устраняют затекание на наружную поверхность кабеля токов высокой частоты, искажающих форму диаграммы направленности.

Для линейного разрезного вибратора наиболее простым по конструкции согласующе-симметрирующим устройством является четвертьволновый короткозамкнутый мостик на отрезках коаксиальных кабелей (рис. 4.21), в котором роль мостика играют экраны кабелей. Экран кабеля 1, соединяющего антенну с приемником, подключается к одной трубке вибратора, а экран кабеля 2 — к другой. Внутренний проводник кабеля 1 соединяют с той же трубкой вибратора, к которой подключен экран кабеля 2. На рас-

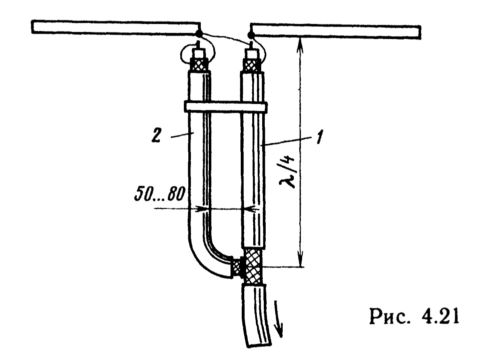


Рис. 4.21

стоянии λ/4 от вибратора экраны кабелей 1 и 2 соединяются друг с другом, образуя четвертьволновый короткозамкнутый мостик. Внутренний проводник кабеля 2 на обоих концах этого кабеля можно либо срезать заподлицо, либо припаять к экранам. Кабели 1 и 2 должны быть закреплены параллельно друг другу.

Согласующе-симметрирующие устройства для петлевого вибратора показаны на рис. 4.22. Самым простым по конструкции является полуволновое U-колено (рис. 4.22, *а*) из коаксиального кабеля с $z_в=75$ Ом, которое может быть использовано как на метровых, так и на дециметровых волнах.

Длина U-колена

$$l_U=\lambda_л/2=\lambda/2n.$$

Коэффициент укорочения n определяется по табл. 4.1. Рабочая полоса частот ±20 % от средней частоты. На рис. 4.22,*в* и *г* показаны малогабаритные широкодиапазонные согласующе-симметрирующие устройства *метрового* диапазона волн, работающие в пятикратной полосе частот. Устройство на рис. 4.22, *в* состоит из двух высокочастотных трансформаторов. Катушки трансформаторов наматываются на кольцах из термостабильных никель-цинковых ферритов М50 ВН-14 К7×4×2. Намотка согласная рядовая в два провода ПЭТВ-2 диаметром 0,21 мм. В устройстве рис. 4.22, *г* катушки трансформаторов наматываются согласно на диэлектрических каркасах проводом ПЭТВ-2 диаметром 0,33 мм с числом витков 19×2, диаметр намотки 18 мм. На рис. 4.22, *б* показано малогабаритное согласующе-симметрирующее устройство *дециметрового* диапазона волн, которое может быть использовано в полутора-двукратной полосе частот. Устройство представляет собой свернутую в спираль полуволновую полосковую линию, центральным проводником которой служит лента, намотанная на каркас из полистирола или органического стекла, а земляным проводником — свернутая из листа латунная трубка с узкой продольной щелью. Конструкция устройства показана на рис. 4.23.

Антенна ТАИ-12М (АТИГ/В-6.1.1-12.51) — телевизионная наружная индивидуальная антенна промышленного производства, обеспечивающая прием телевизионных сигналов на каналах 1—12 и сигналов УКВ ЧМ вещания с горизонтальной или вертикальной поляризацией в зоне уверенного и качественного приема. Антенна представляет собой разрезной вибратор, каждая половина которого состоит из двух трубок, расположенных под углом 60° друг к другу, что обеспечивает расширение рабочей полосы частот. В направлении на телевизионный центр или ретранслятор плоскости половин вибратора расположены под углом 120°. Диаграмма направленности близка по форме к «восьмерке», КБВ 0,3-0,4. Согласующе-симметрирующее устройство собрано по схеме рис. 4.22, *в*.

Антенна ИТА-12М (АТИГ/В-6.1.1-12.104) — индивидуальная телевизионная антенна промышленного производства, рассчитанная на прием телевизионных сигналов на каналах 1—12 и сигналов УКВ ЧМ вещания с горизонтальной или вертикальной поляризацией. Имеет более направленную диаграмму, чем антенна ТАИ-12М (задний лепесток по полю составляет примерно 0,4 от переднего лепестка), что позволяет использовать антенну ИТА-12М при наличии небольшого уровня помех и отраженных сигналов. Антенна состоит из двух вибраторов (активного вибратора и активного рефлектора), плечи которых расположены под углом 120° друг к другу. Активный вибратор и активный рефлектор питаются через направленный ответвитель.

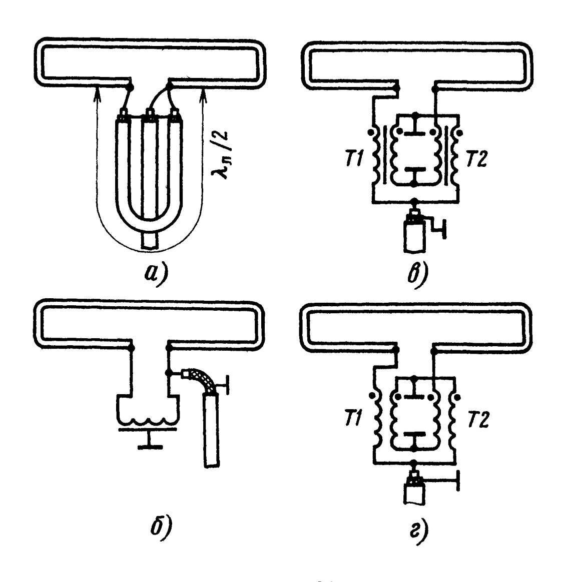


Рис. 4.22

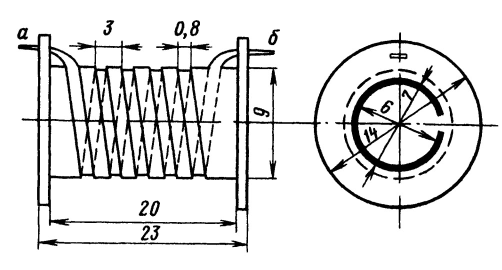


Рис. 4.23

Направленные и остронаправленные антенны

Антенна «волновой канал» (рис. 4.24) — простая по конструкции эффективная направленная антенна, широко используемая для приема телевизионных передач, а также для профессиональной и любительской радиосвязи. Может применяться для приема вертикально или горизонтально поляризованных волн. Состоит из ряда последовательно расположенных параллельных вибраторов (элементов) — рефлектора, активного вибратора (обычно линейного разрезного или петлевого) и директоров. Диаграмма направленности — однонаправленная (рис. 4.16). При увеличении числа директоров уменьшается угол раствора главного лепестка диаграммы направленности и возрастает коэффициент усиления. На телевизионных каналах метровых волн с 1-го по 5-й число элементов не превышает обычно 5...7, с 6-го по 12-й — 8...10, а на телевизионных каналах дециметровых волн с 21-го по 60-й — 15...18. Дальнейшее увеличение числа элементов не дает существенного повышения коэффициента усиления и в то же время приводит к значительному возрастанию массы и габаритных размеров антенны. Поэтому в тех случаях, когда необходимо увеличить коэффициент усиления, следует использовать антенные решетки, состоящие из нескольких разнесенных синфазно включенных антенн.

Рабочая полоса частот антенны «волновой канал» — от ±(2...3) до ±20 % от средней частоты. Настройка антенны на широкую или узкую полосу проводится соответствующим выбором размеров вибраторов и расстояний между ними. При правильной настройке узкополосная антенна имеет более высокий коэффициент усиления. Например, узкополосная антенна с полосой ±(2...3) %, обеспечивающая прием на одном из телевизионных каналов с 6-го по 12-й, при правильной настройке имеет коэффициент усиления, больший, чем у широкополосной антенны с полосой ±17 % на каналы с 6-го по 12-й, на 2...3 дБ при одной и той же длине антенны. Для улучшения согласования в широкой полосе частот первый директор должен быть расположен на расстоянии (0,08...0,1)λ от активного вибратора.

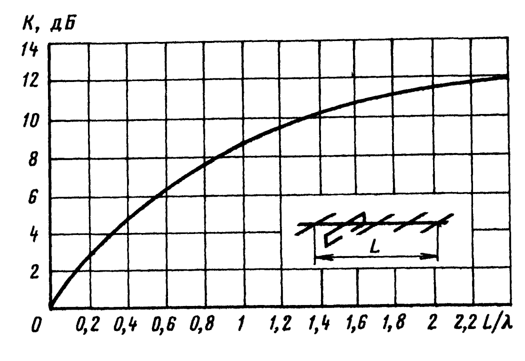


Рис. 4.24

Коэффициент усиления антенны «волновой канал» со средним значением рабочей полосы ±10 % может быть приближенно определен по графику на рис. 4.24. Коэффициент усиления узкополосной антенны на 1...1,5 дБ больше, широкополосной — на 1...1,5 дБ меньше.

При настройке антенны, предназначенной для использования в условиях сильных помех и отраженных сигналов, необходимо обратить особое внимание на снижение уровня задних и боковых лепестков диаграммы направленности. Для узкополосных антенн уровень лепестков должен быть не хуже 18...24 дБ, для широкополосных — не хуже 16...20 дБ. Если получить такой уровень лепестков при использовании простого по

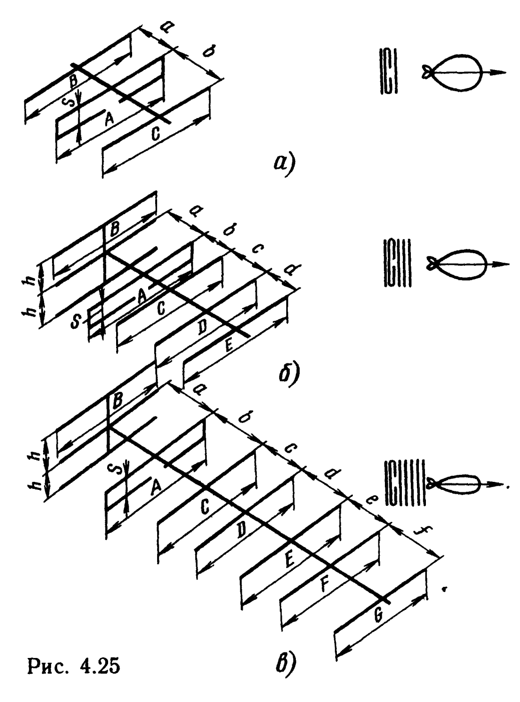


Рис. 4.25

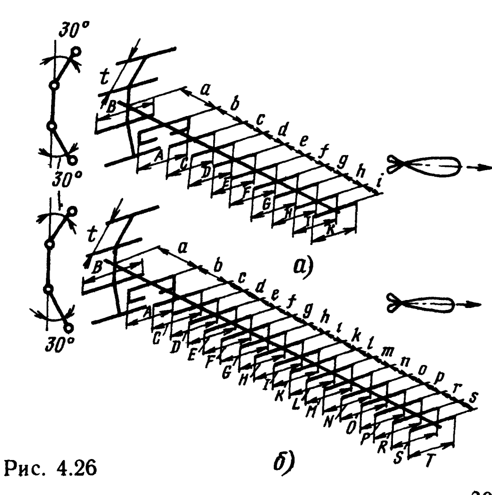


Рис. 4.26

Таблица 4.2. **Размеры трехэлементных антенн «волновой канал» на телевизионные каналы 1—12 и для любительского диапазона 2 м (рис. 4.25, *а*)**

Телевизионные каналы	Размеры, мм						Длина U-колена
	A	B	C	a	b	s	
1	2760	3350	2340	900	600	80	1900
2	2340	2840	2000	760	510	80	1600
3	1790	2200	1550	590	395	80	1240
4	1620	2000	1400	535	355	80	1120
5	1510	1830	1290	490	330	80	1030
6	815	990	690	270	180	80	560
7	780	950	660	255	170	80	535
8	745	905	630	240	160	80	515
9	720	870	610	230	155	80	495
10	690	840	585	225	150	80	475
11	665	805	560	220	145	80	455
12	640	780	545	215	140	80	440
Любительский диапазон 2 м	990	1220	845	320	215	80	690

конструкции рефлектора в виде одиночного вибратора не удается, следует применить более сложный рефлектор — из нескольких вибраторов, расположенных в одной плоскости или в виде уголка (рис. 4.25 и 4.26).

Подключение коаксиального кабеля к активному вибратору антенны «волновой канал» может производиться с помощью согласующе-симметрирующих устройств, показанных на рис. 4.21 и 4.22.

В табл. 4.2 и 4.3 приведены размеры трех- и пятиэлементных антенн на телевизионные каналы 1—12, в табл. 4.4 — семиэлементных антенн на каналы 6—12, в табл. 4.5 и 4.6 — десяти- и восемнадцатиэлементных антенн на каналы 21—41 дециметровых волн. В этих же таблицах указаны размеры антенн на любительские диапазоны 2 м и 70 см. В табл. 4.2—4.4 указаны также длины кабелей U-колена для подключения активного петлевого вибратора по схеме рис. 4.22, *а*. Соответствующие обозначения размеров элементов и расстояний между элементами показаны на рис. 4.25 (антенны на каналы 1—12) и 4.26 (антенны на каналы 21—41). Угол раствора главного лепестка диаграммы направленности и коэффициент усиления составляют: для трехэлементных антенн — соответственно 80° и 4,5 дБ, пятиэлементных — 50° и 6,5 дБ, семиэлементных — 45° и 8 дБ, десятиэлементных — 35° и 9 дБ, восемнадцатиэлементных — 25° и 11,5 дБ.

Дальность приема телевизионных сигналов на антенну с тем или иным числом элементов зависит от мощности передатчика, высоты установки передающей и приемной антенн, рельефа местности и т. д. В среднем можно считать, что на каналах 1—12 трехэлементную антенну следует применять на расстоянии до 40...60 км от телевизионного центра, пятиэлементную — до 60...80 км, семиэлементную — до 70...80 км, а на дециметровых волнах на каналах 21—41-десятиэлементную на расстоянии до 50...70 км, восемнадцатиэлементную — до 70...90 км. В случае приема сигналов ретрансляторов мощностью 100 Вт метровых волн (типа РЦТА) следует применять на расстоянии до 30...50 км пяти- и семиэлементные антенны, а ретрансляторов мощностью 100 Вт дециметровых волн (типа РПТДА и РТДА) — антенну с числом элементов, равным 10 и более. В условиях сильных помех и отраженных сигналов во всех случаях необходимо применять остронаправленные антенны.

Специальным подбором размеров элементов и расстояний между ними можно создать антенны «волновой канал» с двугорбой частотной характеристикой (многоканальные антенны), работающие на двух далеко разнесенных по частоте телевизионных каналах — 1 и 3, 2 и 4 и т. д. Такие антенны используются преимущественно в системах коллективного приема телевидения.

Антенна АТИГ/В-5.2.21-41.2 — остронаправленная телевизионная антенна дециметровых

Таблица 4.3. **Размеры пятиэлементных антенн «волновой канал» на телевизионные каналы 1—12 и для любительского диапазона 2 м (рис. 4.25, *б*)**

Телевизионные каналы	Размеры, мм											Длина U-колена, мм
	A	B	C	D	E	a	b	c	d	h	s	
1	2760	3130	2510	2490	2430	1200	730	700	740	910	80	1900
2	2340	2650	2130	2100	2060	1030	620	590	625	775	80	1600
3	1790	2060	1650	1630	1600	790	480	460	485	600	80	1240
4	1620	1870	1500	1485	1450	720	435	420	440	545	80	1120
5	1510	1710	1370	1360	1330	660	400	380	400	500	80	1030
6	730	840	720	720	700	325	210	500	420	240	80	560
7	690	840	680	680	660	310	210	530	365	240	80	535
8	680	800	660	660	650	300	210	490	370	240	80	515
9	660	760	640	610	610	290	160	450	380	240	80	495
10	605	700	610	610	610	260	190	445	315	240	80	475
11	580	710	580	580	570	260	190	390	350	240	80	455
12	550	680	560	560	530	240	250	385	340	240	80	440
6...12	660	850	605	590	560	280	120	230	360	240	80	515
Любительский диапазон 2 м	910	1070	880	880	870	400	280	660	495	240	80	690

Таблица 4.4. **Размеры семиэлементных антенн «волновой канал» на телевизионные каналы 6—12 и для любительского диапазона 2 м (рис. 4.25, *в*)**

Телевизионные каналы	Размеры, мм															Длина U-колена, мм
	A	B	C	D	E	F	G	a	b	c	d	e	f	h	s	
6	700	840	695	710	695	685	670	500	295	420	400	265	280	240	80	560
7	670	800	660	670	660	650	640	475	280	400	380	250	270	240	80	535
8	645	770	640	650	640	625	615	455	270	385	370	245	260	240	80	515
9	620	740	615	620	615	600	590	435	260	370	355	235	250	240	80	495
10	595	710	585	595	585	575	565	420	250	355	340	225	240	240	80	475
11	575	685	570	580	570	560	550	405	240	345	330	220	230	240	80	455
12	555	660	550	560	550	540	530	390	230	335	315	210	225	240	80	440
6...12	660	850	605	590	560	515	490	280	120	230	360	378	405	240	80	515
Любительский диапазон 2 м	595	1030	860	870	860	840	825	610	360	500	495	330	350	240	80	690

Таблица 4.5. **Размеры десятиэлементных антенн «волновой канал» на телевизионные каналы 21—41 и для любительской связи в диапазоне 70 см (рис. 4.26, *а*)**

Обозначения размеров	Размеры, мм		Обозначения размеров	Размеры, мм	
	телевизионные каналы 21—41	любительский диапазон 70 см		телевизионные каналы 21—41	любительский диапазон 70 см
A	268	342	a	107	136
B	320	405	b	55	70
C	226	286	c	67	85
D	222	282	d	78	98
E	219	277	e	90	114
F	216	274	f	103	131
G	212	268	g	113	143
H	208	263	h	123	156
I	205	260	i	138	175
K	201	254	t	180	228

Таблица 4.6. **Размеры восемнадцатиэлементных антенн «волновой канал» на телевизионные каналы 21—41 (рис. 4.26, *б*)**

Обозначения размеров	Размеры, мм	Обозначения размеров	Размеры, мм	Обозначения размеров	Размеры, мм
A	268	N	190	g	113
B	320	O	194	h	123
C	226	P	197	i	138
D	222	R	202	k	148
E	219	S	208	l	160
F	216	T	216	m	169
G	212	a	107	n	180
H	208	b	55	o	192
I	205	c	67	p	202
K	201	d	78	r	212
L	197	e	90	s	225
M	192	f	103	t	180

волн типа «волновой канал» промышленного изготовления, обеспечивающая качественный прием сигналов с горизонтальной или вертикальной поляризацией в зоне действия телевизионного центра или ретранслятора. Состоит из активного петлевого вибратора, встроенного рефлектора и 11 директоров. Все вибраторы — плоские штампованные. Имеет простую конструкцию, удобна в сборке и установке. Согласующе-симметрирующее устройство — по схеме рис. 4 22, *б*.

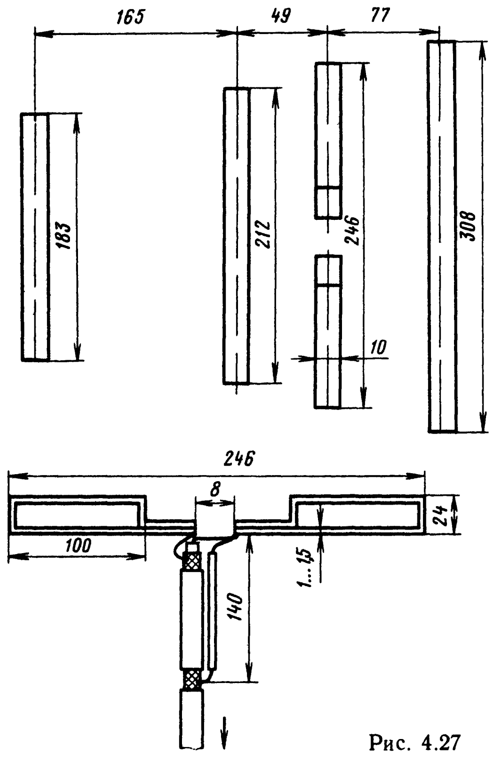


Рис. 4.27

Антенны «волновой канал» могут использоваться в качестве *комнатных телевизионных антенн* на каналах 21—41 и обеспечивают удовлетворительный прием при установке около окон, выходящих в сторону телевизионного центра, и отсутствии близлежащих загораживающих зданий. Размеры антенны показаны на рис. 4.27. Вибраторы изготавливаются из полосы толщиной 1...1,5 мм. Кабель с $z_в = 75$ Ом подключается с помощью четвертьволнового короткозамкнутого мостика, одним плечом которого служит экран кабеля, а другим — отрезок любого провода в изоляции.

Широкополосные антенны

Логопериодические антенны — широкополосные направленные антенны, обеспечивающие прием сигналов с горизонтальной или вертикальной поляризацией в десятикратном и более широком диапазоне волн. Используются для приема передач многопрограммных телевизионных центров и ретрансляторов при любых сочетаниях каналов метровых и дециметровых волн, а также для профессиональной и любительской радиосвязи, в том числе на декаметровых волнах. Наиболее простой в конструктивном отношении вариант — плоская вибраторная антенна (рис. 4.28, *а*, *в*), состоящая из двухпроводной линии 1 и подключенных к ней линейных вибраторов 2 с последовательной переменой фазы питания на 180°. Коаксиальный кабель 3 протягивается через одну из трубок двухпроводной линии (рис. 4.28, *в*) и подключается к антенне, как показано на выноске А. Направление максимума главного лепестка диаграммы направленности показано на рис. 4.28, *в* стрелкой.

Размеры антенны при заданных электрических параметрах определяются периодом логопериодической структуры τ, равным отношению длин любой пары рядом расположенных вибраторов (меньшего к большему), относительным расстоянием σ, равным отношению расстояния между любой парой вибраторов к удвоенной длине бóльшего из вибраторов, и углом 2α при вершине (рис. 4.28, *б*). Чем ближе значение τ к единице, тем выше коэффициент усиления антенны, однако при этом возрастают ее габаритные размеры и число вибраторов. Вибраторы антенны метровых волн изготавливают из трубок диаметром 20... ...25 мм, а дециметровых волн — 8...12 мм. Для изготовления антенны, предназначенной для приема как метровых, так и дециметровых волн, следует применить набор трубок с постепенно уменьшающимся диаметром от 20...25 до 6...8 мм либо трубки одного и того же диаметра в пределах 12...16 мм. Мачта крепится к антенне через изоляторы 4 (рис. 4.28, *в*). Фидер снижения — кабель с $z_в = 75$ Ом.

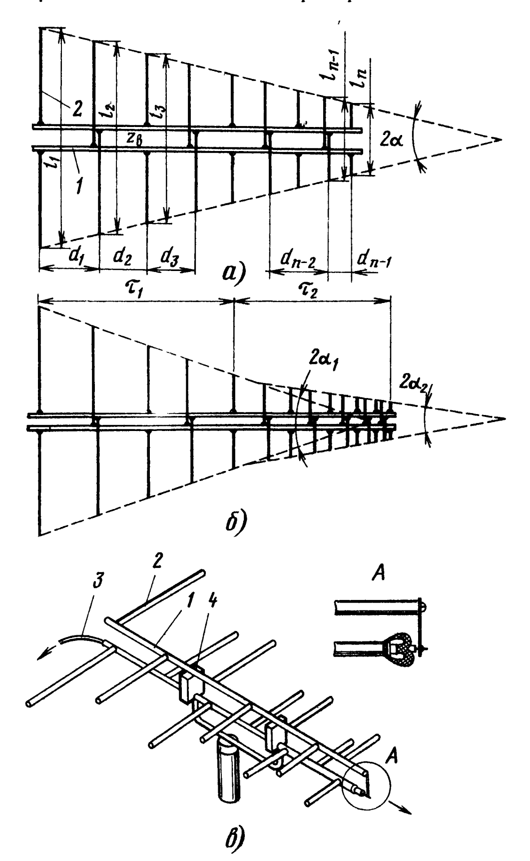


Рис. 4.28

Расчет антенны. Исходные данные для расчета: коэффициент усиления, дБ, максимальная λ_{max} и минимальная λ_{min} длины волн рабочего диапазона.

1. По кривым рис. 4.29 определяем для заданного коэффициента усиления значения τ и σ. Как видно из рис. 4.29, каждому значению коэффициента усиления соответствуют различные сочетания значений τ и σ. При большем τ возрастает число вибраторов, а при меньшем — длина антенны.

2. Длины вибраторов

$$l_1 = 0{,}55\lambda_{max};\ l_2 = l_1\tau;\ l_3 = l_2\tau \text{ и т. д.}$$

Расчет длин вибраторов продолжают до тех пор, пока длина очередного вибратора не станет равной $0{,}45\lambda_{min}$. Этот вибратор будет последним.

3. Расстояния между вибраторами

$$d_1 = 2l_1\sigma;\ d_2 = d_1\tau;\ d_3 = d_2\tau \text{ и т. д.}$$

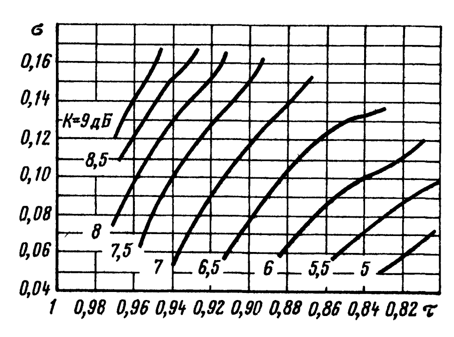


Рис. 4.29

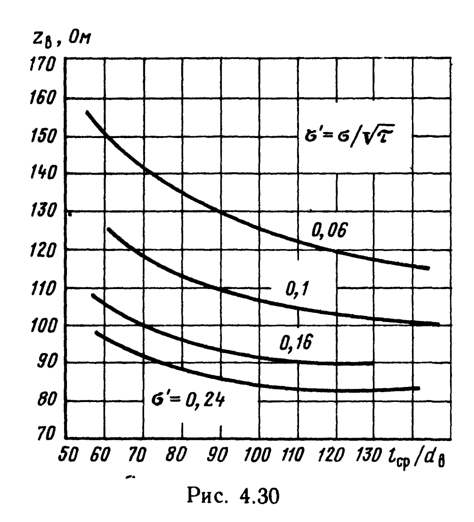


Рис. 4.30

4. Длина «среднего» вибратора

$$l_{ср}=(l_1+l_п)/2,$$

где $l_п$ — длина последнего вибратора.

5. Определяем отношение $l_{ср}/d_в$, где $d_в$ — диаметр вибраторов.

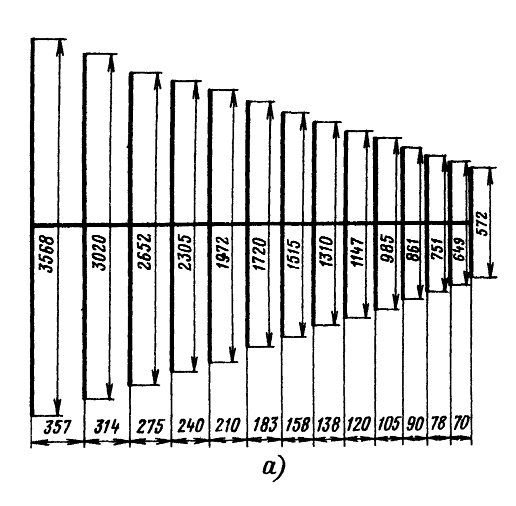
6. По графику рис. 4.30 рассчитываем $z_в$ двухпроводной линии, требуемое для получения входного сопротивления антенны, равного 75 Ом.

На этом расчет заканчивается.

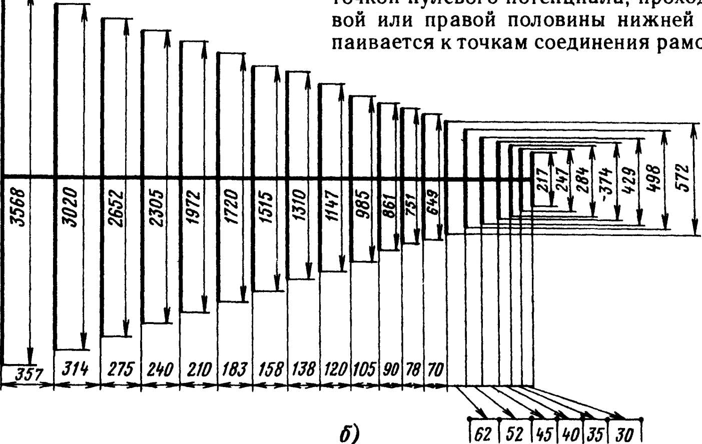
На рис. 4.31, *а* приведены размеры логопериодической антенны на телевизионные каналы 1—12, на рис. 4.31, *б* — 1—41. Коэффициент усиления этих антенн — 6 дБ, уровень задних и боковых лепестков — от минус 13 до минус 22 дБ, КБВ = 0,5...0,7.

Логопериодическая антенна с переменным периодом структуры. На дециметровых волнах целесообразно увеличить коэффициент усиления, так как на этих волнах снижается действующая высота антенны, что приводит к уменьшению уровня сигнала на входе телевизионного приемника. Повысить коэффициент усиления на дециметровых волнах, не увеличивая габаритные размеры антенны, можно за счет некоторого его снижения на метровых волнах. Способ построения такой антенны показан на рис. 4.28, *б*. Расчет проводится по изложенной выше методике при τ_1 и σ_1, соответствующих согласно рис. 4.29 коэффициенту усиления, выбранному для метрового диапазона. Начиная с вибратора, длина которого составляет 0,55 от максимальной длины волны дециметрового диапазона 0,36 м, расчет длин вибраторов и расстояний между ними проводится при значении τ_2, которое соответствует по рис 4.29 коэффициенту усиления, выбранному для дециметрового диапазона. При определении τ_2 значение σ_2 следует принять равным значению σ_1. Последним (самым коротким) вибратором должен быть вибратор длиной не более $0{,}45\lambda_{min}$.

Рамочные (зигзагообразные) антенны (рис. 4.32) — диапазонные направленные антенны, обеспечивающие прием сигналов на телевизионных каналах 1—5 или 6—12. Состоит из сдвоенной рамки и рефлектора. Фидер снижения (кабель с $z_в=75$ Ом) вводится в точке О, являющейся точкой нулевого потенциала, проходит внутри левой или правой половины нижней рамки и припаивается к точкам соединения рамок (выноска А,



а)



б)

Рис. 4.31

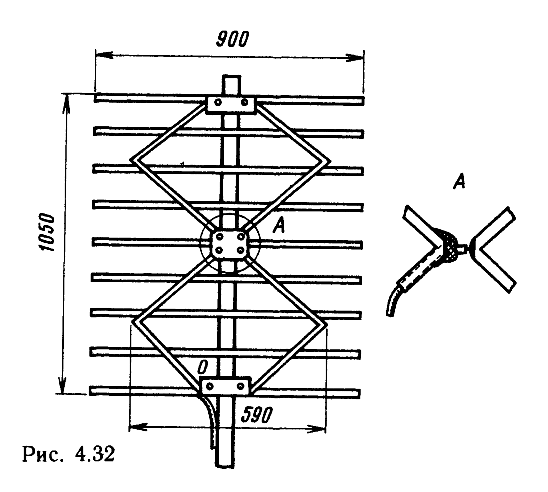


Рис. 4.32

рис. 4.32). На рисунке показаны размеры антенны на каналы 6—12. Расстояние от рамки до рефлектора — 370 мм. Размеры антенны на каналы 1—5 могут быть определены умножением размеров, показанных на рис. 4.32, на коэффициент 2,8. Диаметры трубок — 12...20 мм. Рамка может быть выполнена из двух-трех параллельно соединенных проводов диаметром 1,5...2 мм, натянутых на деревянную раму. Мачта крепится к рефлектору без изоляторов.

Синфазные антенны

Синфазные антенны — эффективные остронаправленные антенны, состоящие из нескольких антенн, разнесенных по горизонтали и вертикали и соединенных в фазе. Применяются для приема в зоне слабого и неустойчивого сигнала. Коэффициент усиления увеличивается на 2,5...3 дБ при удвоении числа антенн. Например, если коэффициент усиления одиночной антенны составляет 8 дБ, то синфазная антенна из двух антенн имеет коэффициент усиления около 11 дБ, из четырех — около 14 дБ и т. д. На рис. 4.33, *а* показан внешний вид синфазной антенны из двух антенн «волновой канал», на рис. 4.33, *б* — схема кабельных соединений. Все кабели с $z_в = 75$ Ом. Длины кабелей l должны быть равными. Эти кабели необходимо подключать к вибраторам строго одинаково — оба кабеля либо к левым, либо к правым клеммам вибраторов. В противном случае антенна работать не будет.

Для уменьшения уровня задних лепестков диаграммы направленности может быть применен продольный сдвиг антенн относительно друг друга на четверть длины волны, при этом должна быть сохранена синфазность работы антенны. Если, например, в конструкции (рис. 4.33) сдвинуть правую антенну относительно левой вперед на четверть длины волны, то кабель правой антенны необходимо удлинить на $\lambda_л/4$, где $\lambda_л = \lambda/n$ (n — коэффициент укорочения, определяемый по табл. 4.1).

4.6. АНТЕННЫ СВЯЗНЫХ РАДИОСТАНЦИЙ

Слабонаправленные антенны декаметровых волн

Полуволновые линейные вибраторы — простейшие антенны для радиолюбительской связи, рассчитанные на работу в одном из КВ диапазонов. Изготавливаются из медного или оцинкованного стального провода либо антенного канатика. Диаметр провода или канатика — 2...3 мм. Горизонтально расположенный вибратор обеспечивает передачу и прием горизонтально поляризованных волн в двух противоположных направлениях в секторах ±60° относительно перпендикуляра к продольной оси вибратора. Конструктивные разновидности — полуволновый вибратор с шунтовым питанием (рис. 4.34, *а*) и разрезной полуволновый вибратор с питанием в пучности тока (рис 4.34, *б*).

Основные размеры:

$$l = 0{,}46\lambda_{ср};\ a = 0{,}12\lambda_{ср};\ b = 0{,}16\lambda_{ср},$$

где $\lambda_{ср}$ — средняя длина волны соответствующего диапазона.

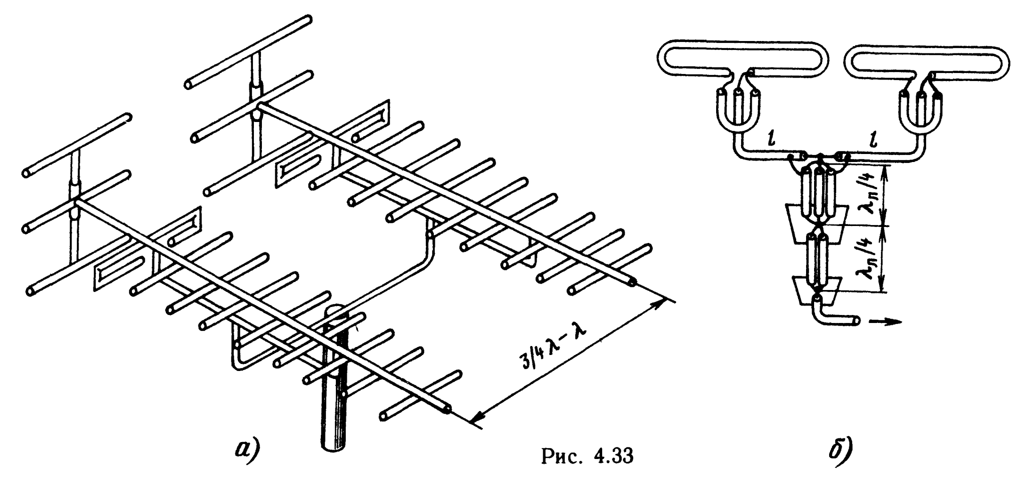


Рис. 4.33

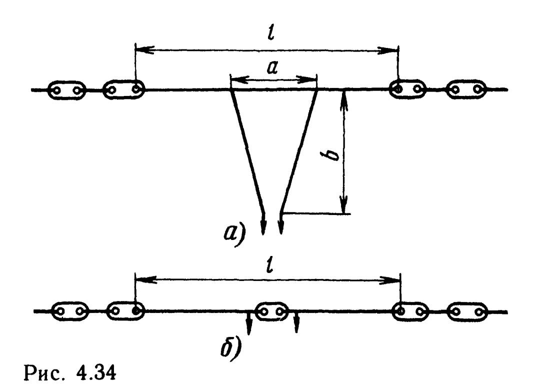


Рис. 4.34

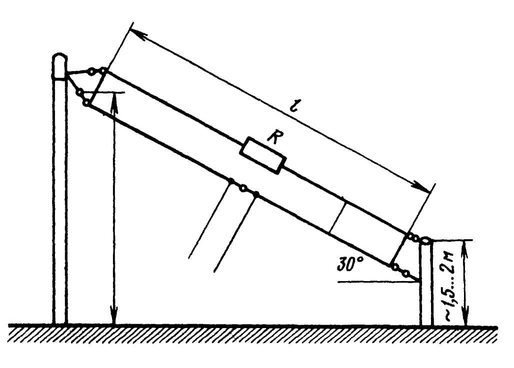


Рис. 4.36

Фидер снижения вибратора с шунтовым питанием — симметричная линия с $z_в=600$ Ом, разрезного вибратора — кабель с $z_в=75$ Ом.

Многодиапазонная антенна, состоящая из нескольких параллельно соединенных и расположенных под углом друг к другу в горизонтальной плоскости разрезных полуволновых вибраторов,— простейшая антенна для радиолюбительской связи в диапазонах 10, 20, 40 и 80 м. Длина каждого вибратора составляет $0{,}46\lambda_{ср}$, фидерная линия — кабель с $z_в=75$ Ом. Рассогласование вибраторов при параллельном включении относительно невелико, так как средние частоты рабочих диапазонов отличаются друг от друга примерно в 2 раза. При этом более длинные вибраторы работают на резонансных частотах более коротких вибраторов в режиме волновых резонансов и имеют высокое входное сопротивление, а более короткие вибраторы на резонансных частотах более длинных вибраторов также имеют высокое входное сопротивление емкостного характера.

Многодиапазонная антенна с заградительными фильтрами W3DZZ (рис. 4.35, *а*) — простая по конструкции антенна, работающая в диапазонах 10, 15, 20, 40 и 80 м. Заградительные фильтры должны быть настроены на среднюю частоту диапазона 40 м ($f_{ср}=7{,}05$ МГц). Индуктивность катушек L1 и L2 равна 8,3 мкГн, емкость конденсаторов С1 и С2 62 пФ. Фидер снижения — кабель с $z_в=75$ Ом.

Укороченная многодиапазонная антенна с заградительными фильтрами W3DZZ (рис. 4.35, *б*) работает в диапазонах 10, 20 и 40 м. Фильтры должны быть настроены на среднюю частоту диапазона 20 м ($f_{ср}=14{,}2$ МГц). Индуктивность катушек L1 и L2 равна 4,7 мкГн, емкость конденсаторов С1 и С2 27 пФ. Фидер снижения — кабель с $z_в=75$ Ом.

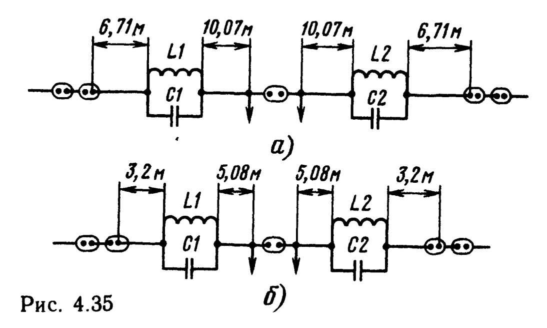


Рис. 4.35

Антенна T2 FD (рис. 4.36) — нагруженный петлевой вибратор, расположенный под углом к поверхности земли. Может быть использована в диапазонах 10, 15, 20 и 40 либо 20, 40 и 80 м. Диаграмма направленности не имеет нулевых минимумов, что позволяет использовать антенну для связи в различных направлениях. Основные размеры: $l=0{,}33\lambda$, где λ — самая длинная волна рабочего диапазона, $R=650$ Ом, фидер снижения — симметричная линия с $z_в=600$ Ом.

Диполь Надененко (рис. 4.37, *а*) — широкодиапазонная антенна для профессиональной и любительской связи, работающая в трехкратной полосе частот. Может применяться в диапазонах 10, 15 и 20, либо 15, 20 и 40, либо 40 и 80 м. Представляет собой разрезной симметричный вибратор, каждое плечо которого выполнено из нескольких проводов диаметром 2...4 мм, расположенных равномерно по образующим цилиндра. Фидер снижения — симметричная линия с $z_в=300$ Ом. Длина антенны $l=0{,}45\lambda_{ср}$, где $\lambda_{ср}$ — средняя длина волны самого длинноволнового рабочего диапазона. Входное сопротивление в рабочей полосе частот меняется от 50...60 до 400...500 Ом. Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости — «восьмерка».

Диапазонный шунтовой вибратор (рис. 4.37, *б*) — антенна для профессиональной и любительской связи, работающая в пятикратной полосе частот. Может быть использована в диапазонах 10, 15, 20 и 40 либо 20, 40 и 80 м. Каждое плечо вибратора состоит из шести проводов, расположенных по образующим цилиндра. Два верхних провода образуют между точками MN шунтирующий шлейф, уменьшающий зависимость входного сопротивления от частоты. Включение шлейфа приводит также к уменьшению тока на входных зажимах вибратора и соответственно к увеличению входного сопротивления в среднем до 400...500 Ом, что позволяет подключить к вибратору двухпроводную линию с $z_в=400$... ...500 Ом без согласующего трансформатора. Конструкция шунтового вибратора очень удобна с точки зрения грозозащиты, так как провод заземления может быть непосредственно подключен к вибратору в середине шунта (точка нулевого потенциала).

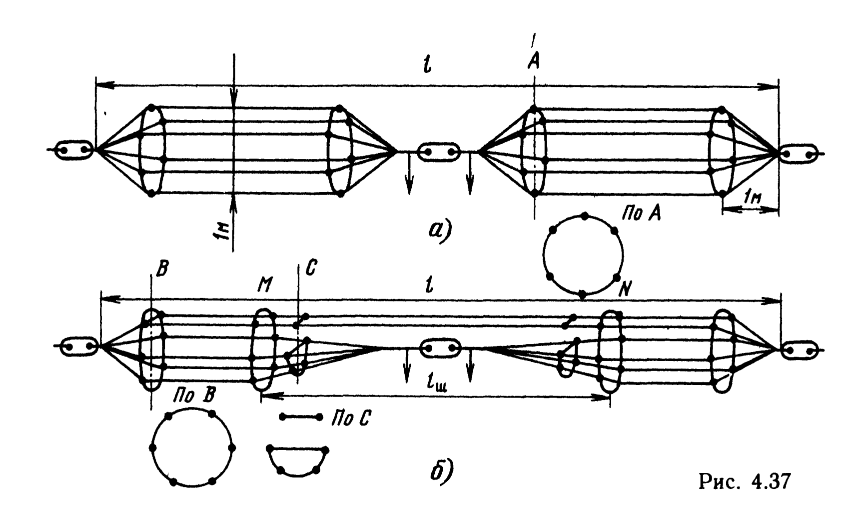


Рис. 4.37

Вертикальный вибратор с противовесом (рис. 4.38) представляет собой четвертьволновый штырь, укрепленный на изоляторе, и систему радиально расположенных проводов длиной $\lambda/4$ на самой длинной волне рабочей полосы частот. Провода противовеса должны быть замкнуты между собой непосредственно у основания штыря. Антенна может быть использована в диапазонах 10, 15 и 20 м. Длина штыря $l=0{,}23\lambda$, где λ — средняя длина волны рабочей полосы частот. Диаметр штыря — 40...60 мм. Штырь может быть изготовлен также в виде системы соединенных между собой вертикальных проводов, расположенных вокруг трубы меньшего диаметра. Входное сопротивление (между основанием штыря и противовесом) при горизонтальном расположении проводов противовеса — около 30...40 Ом, что позволяет использовать в качестве фидера снижения кабель с $z_в=50$ Ом. Если необходимо применить кабель с $z_в=75$ Ом, то входное сопротивление нужно повысить, расположив провода противовеса наклонно под углом около 130...140° к оси штыря, либо включить между антенной и фидером четвертьволновый трансформатор из кабеля с $z_в=50$ Ом.

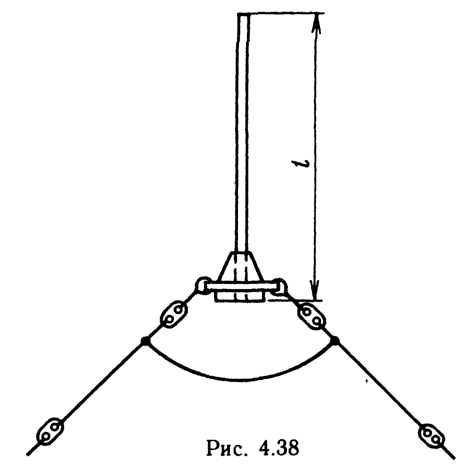


Рис. 4.38

Направленные антенны

Ромбическая антенна (рис. 4.39) — направленная антенна горизонтальной поляризации, которая может быть использована в двукратном диапазоне волн. Состоит из двух согнутых горизонтальных проводников, выполненных из провода диаметром 3...5 мм или из антенного канатика. Проводники укреплены через изоляторы на четырех металлических или деревянных опорах (рис. 4.39, *а*). К точкам a—b подключается фидер снижения, а к точкам c—d — нагрузочный резистор сопротивлением 700 Ом, обеспечивающий получение режима бегущей волны в проводниках ромба.

На рис. 4.39, *б* показаны диаграммы направленности каждого из четырех проводников с бегущей волной тока, образующих ромб. Размеры ромба выбраны так, что лепестки a_1, a_2, a_3, a_4 располагаются параллельно его большой диагонали и поля, излученные этими лепестками, складываются синфазно, образуя в направлении стрелки главный лепесток диаграммы направленности. Лепестки b_1, b_2, b_3, b_4 расположены под углом к большой диагонали и частично компенсируются, образуя небольшие боковые лепестки.

Волновое сопротивление антенны вдоль ее оси не остается постоянным, так как расстояние между проводниками меняется. Поэтому в проводниках образуются отраженные волны небольшой амплитуды, что приводит к увеличению уровня лепестков и ухудшению согласования. Выравнивание волнового сопротивления может быть достигнуто выполнением сторон ромба из нескольких параллельно соединенных проводников, как показано на рис. 4, 39, *в*. Расстояние s между проводниками у тупых углов должно составлять $(0{,}02...0{,}03)\,l$, где l — длина стороны ромба.

Ширина главного лепестка диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях — около 15°. Коэффициент усиления антенны — около 11...12 дБ, что на 2...3 дБ меньше ее КНД, так как половина мощности теряется в нагрузочном резисторе ($\eta_a=0{,}5...0{,}6$).

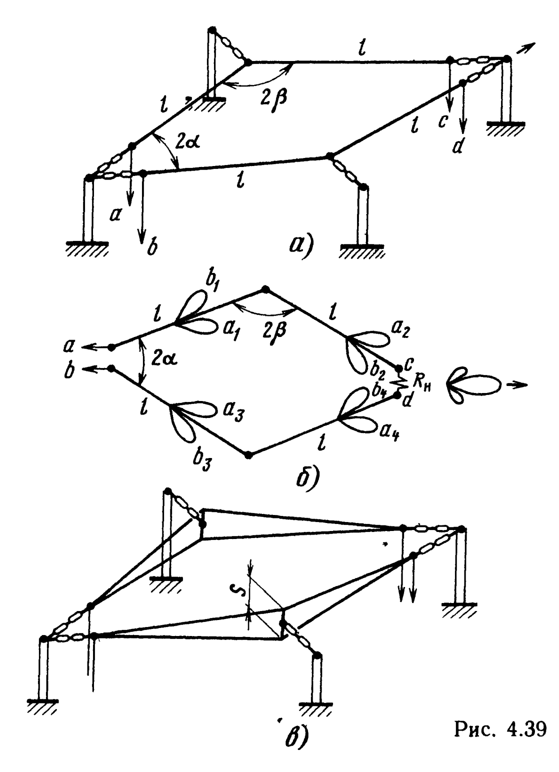


Рис. 4.39

Расчет. Исходные данные: λ_{min}, λ_{max} и Δ_0 — угол наклона диаграммы в вертикальной плоскости. Для магистралей длиной более 2000 км можно принять $\Delta_0 \doteq 8...15°$.

1. Тупой угол ромба

$$2\beta = 2(90 - \Delta_0).$$

2. Острый угол ромба

$$2\alpha = (360 - 4\beta)/2.$$

3. Расчетная длина волны

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_{min}\lambda_{max}}.$$

4. Сторона ромба

$$l = \frac{\lambda_0}{2(1 - \sin\beta\cos\Delta_0)}.$$

5. Высота подвеса над землей

$$H = \lambda_0/4\sin\Delta_0.$$

6. Сопротивление излучения, Ом, отнесенное к току на клеммах антенны:

$$R_\Sigma = 240\{2{,}3\lg[4\pi(l/\lambda_0)\sin^2\alpha] + 0{,}577\}.$$

7. Коэффициент полезного действия

$$\eta_a = 1 - e^{-R_\Sigma/z_a},$$

где z_a — волновое сопротивление антенны ($z_a \approx \approx 700$ Ом), $e = 2{,}7$.

Если расчетная длина стороны получается чрезмерно большой, то расчет следует повторить, приняв $l = (3\ .4)\lambda_0$, и найти новое значение тупого угла 2β, используя формулу

$$\sin\beta = (2l - \lambda_0)/(2l\cos\Delta_0).$$

Остальные параметры определяются по приведенным выше формулам.

В качестве фидера снижения может быть применена четырехпроводная линия с $z_в = 200$ Ом, подключенная к антенне через согласующий двухпроводный Δ-трансформатор длиной не менее λ/2 на самой длинной волне диапазона, имеющий волновое сопротивление 700 Ом со стороны антенны и 200 Ом со стороны фидера. Для согласования фидера с антенной может быть использован также трансформатор в виде двухпроводной линии с волновым сопротивлением 370 Ом длиной λ/4.

Пример. Рассчитать ромбическую антенну для радиолинии длиной 3000 км; $\lambda_{min} = 10$ м, $\lambda_{max} = 20$ м.

Принимаем $\Delta_0 = 15°$.

1. Тупой угол ромба

$$2\beta = 2(90° - \Delta_0) = 2(90° - 15°) = 150°$$

2. Острый угол ромба

$$2\alpha = (360° - 4\beta)/2 = (360° - 300°)/2 = 30°.$$

3. Расчетная длина волны

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_{min}\lambda_{max}} = \sqrt{10\cdot 20} = 14{,}2 \text{ м}$$

4. Длина стороны ромба

$$l = \frac{\lambda_0}{2(1 - \sin\beta\cos\Delta_0)} = \frac{14{,}2}{2(1 - 0{,}96\cdot 0{,}96)} = 90 \text{ м}$$

5. Высота подвеса над землей

$$H = \frac{\lambda_0}{4\sin\Delta_0} = \frac{14{,}2}{4\sin 15°} = \frac{14{,}2}{4\cdot 0{,}26} = 14 \text{ м}.$$

6. Сопротивление излучения

$$R_\Sigma = 240\{2{,}3\lg[4\pi(l/\lambda_0)\sin^2\alpha] + 0{,}577\} = $$
$$= 240\{2{,}3\lg[4\cdot 3{,}14\cdot 6{,}3\sin^2 15°] + 0{,}577\} = $$
$$= 520 \text{ Ом}.$$

7. Коэффициент полезного действия

$$\eta_a = 1 - e^{-R_\Sigma/z_a} = 1 - e^{-520/700} = 1 - e^{-0{,}75} = $$
$$= 1 - 0{,}48 = 0{,}52$$

Антенна «волновой канал» — направленная антенна, обеспечивающая радиолюбительскую и профессиональную связь на горизонтально или вертикально поляризованных волнах. Может быть использована в качестве поворотной антенны, позволяющей осуществить связь в различных направлениях по азимуту. Число элементов в любительских диапазонах 10 и 15 м — до пяти — семи, 20 м — до трех — пяти, 40 м — до двух — трех.

Логопериодическая антенна — наиболее широкополосная направленная антенна, обеспечивающая без перестройки радиолюбительскую связь в диапазонах 10, 15, 20 и 40 м (расчет антенны приведен в § 4.5).

Антенны метровых и дециметровых волн

Штыревая антенна (рис. 4.40) — простая по конструкции антенна вертикальной поляризации с круговой диаграммой нап-

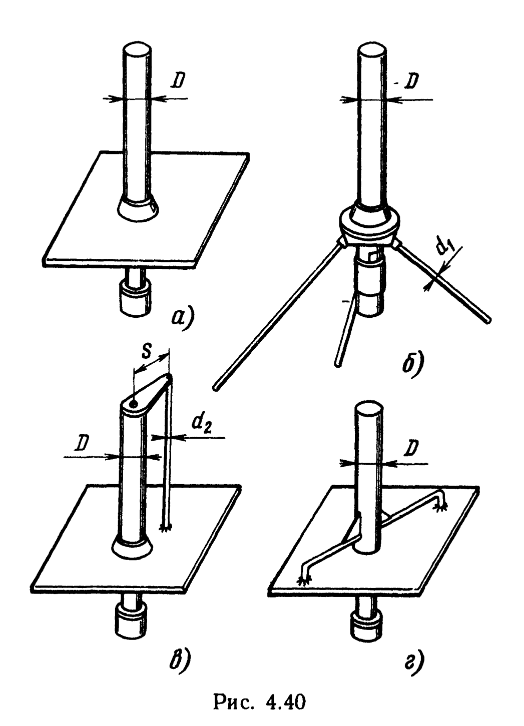


Рис. 4.40

равленности в горизонтальной плоскости и прижатым к земле лепестком в вертикальной плоскости. Может быть использована для профессиональной радиосвязи на метровых и дециметровых волнах, а также в радиолюбительских диапазонах 2 м и 70 см. Антенна, показанная на рис. 4.40, *а*, состоит из укрепленного на изоляторе штыря и противовеса квадратной или круглой формы. Вместо плоского противовеса могут быть использованы несколько радиально расположенных трубок (рис. 4.40, *б*). В диапазоне 2 м $D=30...40$ мм, $d_1=12...15$ мм, в диапазоне 70 см $D=12...15$ мм, $d_1=6...8$ мм. Длина штыря $0,23\lambda_{ср}$, где $\lambda_{ср}$ — средняя длина волны диапазона, сторона квадратного противовеса не менее $0,5\lambda$, длина трубки противовеса не менее $0,25\lambda$, где λ — самая длинная волна диапазона. Фидер снижения (кабель с $z_в=50$ Ом) подключается между штырем и противовесом. Штыревая антенна, показанная на рис. 4.40, *в*, представляет собой несимметричный петлевой вибратор, входное сопротивление которого можно регулировать в широких пределах изменением отношений d_2/D и s/d_2. При $d_2/D=0,2$ и $s/d_2=7,5$ $R_{вх}=75$ Ом. В антенне на рис. 4.40, *г* штырь укреплен на двух четвертьволновых металлических изоляторах

Антенна «волновой канал» — эффективная направленная антенна горизонтальной или вертикальной поляризации с высоким коэффициентом усиления. Может быть выполнена поворотной, что обеспечивает установление связей в различных направлениях по азимуту. Размеры антенны для радиолюбительских диапазонов 2 м и 70 см приведены в табл. 4.2—4.5.

Логопериодическая антенна — широкополосная направленная антенна горизонтальной или вертикальной поляризации, работающая без перестройки в диапазонах 2 м и 70 см (расчет антенны приведен в § 4.5).

4.7. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ГРОЗОЗАЩИТА АНТЕНН

Выбор материалов и защита от коррозии. Для изготовления металлических деталей антенны могут быть использованы сталь, а также медные и алюминиевые сплавы. Из медных сплавов предпочтительнее латунь типа ЛС59-1, ЛС58-10 и Л63, а из числа алюминиевых сплавов — сплавы АМг2 и АМг6, которые наиболее устойчивы к воздействию повышенной влажности и агрессивных сред. Материалы из сплавов АМг2 и АМг6 обладают высокой механической прочностью, пластичны, хорошо поддаются сгибке и сварке. Защита металлических деталей от коррозии производится гальваническим покрытием и окрашиванием. В табл. 4.7 приведены основные сведения о гальванических покрытиях, применяемых для защиты от коррозии деталей из стали, меди и медных сплавов, алюминия и его сплавов. При выборе металлов и покрытий нельзя допускать, особенно в условиях влажного и морского климата, непосредственного контакта разнородных металлов, образующих электрохимическую пару, так как в месте контакта происходит усиленная коррозия. Допустимые и недопустимые контакты между металлами и покрытиями указаны в табл. 4.8. При использовании алюминиевых сплавов следует учитывать, что со временем они покрываются плохо проводящей оксидной пленкой, что приводит к ухудшению контакта между деталями. При сборке антенны необходимо зачистить до блеска места контактов, прочно стянуть детали и сразу же их закрасить. Для защиты таких контактов хорошо использовать быстро высыхающую шпатлевку на эпоксидной основе ЭП-009. Можно воспользоваться также универсальным эпоксидным клеем ЭДП.

Изоляционные детали антенн изготавливаются из текстолита, стеклотекстолита, органического стекла, полистирола, капролона, фторопласта. В процессе механической обработки стеклотекстолита необходимо соблюдать меры предосторожности, исключающие попадание мелких частиц материала в дыхательные пути. При подвеске проволочных антенн могут быть использованы детали из керамики любой подходящей формы.

Монтажные работы. При пайке радиочастотных кабелей следует избегать длительного прогрева кабеля, так как это приводит к оплавлению полиэтиленовой изоляции и смещению внутреннего проводника. Желательно пользоваться припоями с низкой температурой плавления — ПОС-61, ПОСК-50-18, ПОСВ-33. В качестве флюса хорошо использовать спиртовой раствор канифоли (от 10 до 60 % канифоли и от 90 до 40 % растворителя). Остатки флюса смывают спиртобензиновой смесью. При укладке радио-

Таблица 4.7. **Гальванические покрытия**

Вид покрытия	Материал детали	Обозначение покрытия по ГОСТ 9 073—77	Назначение
Цинковое	Сталь	Ц24.хр	Защита от коррозии
	Медь и медные сплавы	Ц15.хр	Защита от коррозии при контакте с деталями из алюминиевых сплавов
Кадмиевое	Сталь	К24.хр	Защита от коррозии деталей, эксплуатируемых в морской атмосфере
	Медь и медные сплавы	К12.хр	Защита от коррозии при контакте с деталями из алюминиевых сплавов
Никелевое	Сталь	Н15	Защита от коррозии и придание твердости трущимся деталям
	Медь и медные сплавы	Н12	Защита от коррозии и придание твердости трущимся деталям
	Алюминий и его сплавы	Хим. Н24	Защита от коррозии

Таблица 4.8. **Допустимые и недопустимые контакты между металлами и покрытиями при эксплуатации аппаратуры на открытом воздухе**

Сопрягаемый металл или покрытие	Медь и ее сплавы	Сталь	Алюминий и его сплавы	Сталь нержавеющая	Олово, припои ПОС	Цинк (металл и хроматированное покрытие)	Никель и никелевое покрытие	Кадмий (металл и хроматированное покрытие)
Медь и ее сплавы	+	—	—	+	+	—	+	+*
Сталь	—	+	—	—	—	—	—	—
Алюминий и его сплавы	—	—	+	+*	+*	+	—	+
Сталь нержавеющая	+	—	+*	+	+	—	+	—
Олово, припои ПОС	+	—	+*	+	+	+*	+	+*
Цинк (металл и хроматированное покрытие)	—	—	+	—	+*	+	—	+
Никель и никелевое покрытие	+	—	—	+	+	—	+	—
Кадмий (металл и хроматированное покрытие)	+*	—	+	+	+*	+	+	+

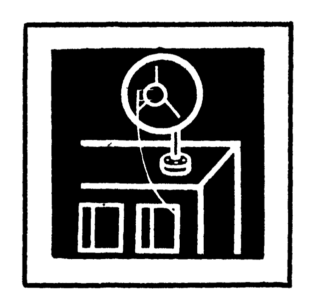
Примечание + допустимая пара, — недопустимая пара

* Возможна незначительная коррозия

частотных кабелей необходимо соблюдать минимально допустимые радиусы изгиба, указанные в табл. 4.2. При вертикальной прокладке кабель может вытягиваться под действием собственного веса. Поэтому его следует в нескольких местах закрепить. Если кабель нужно протянуть между зданиями, опорами и т. д., его закрепляют на металлическом тросе.

Грозозащита антенн. Система грозозащиты состоит из токоотвода и заземляющего устройства. При подключении провода токоотвода не должна нарушаться нормальная работа антенны. Поэтому подключать его нужно в точке нулевого потенциала. Такой точкой является, например, середина неразрезанной трубки петлевого вибратора, середина шунта диапазонного шунтового вибратора, короткозамыкающая перемычка четвертьволнового мостика разрезного линейного вибратора и т д. При отсутствии точки нулевого потенциала можно подключить к клеммам антенны или к другим подходящим точкам дроссель достаточно большой индуктивности или четвертьволновый мостик. В этом случае середина дросселя или мостика будет точкой нулевого потенциала. Токоотвод может быть выполнен стальным или медным проводом диаметром не менее 4...5 мм либо шиной такого же сечения. Заземлителем может служить продолжение провода токоотвода, который укладывается по дну траншеи на глубине около 1 м. Длина заземлителя в глинистой почве должна быть не менее 2 м, в черноземе — 6 м, в песчаной почве 10.. 15 м. После укладки заземлителя траншею нужно засыпать.

Способ устройства грозозащиты зависит от конструкции кровли и мачты. Рассмотрим часто встречающийся в сельской местности случай — телевизионная антенна «волновой канал» установлена около дома на деревянной мачте. Провод токоотвода подключают к середине неразрезанной трубки петлевого вибратора, прокладывают его вдоль мачты, закрепив скобами или проволочными бандажами, и заземляют, как указано выше. Если же мачта металлическая, то провод токоотвода прокладывать не нужно. Верхний конец мачты соединяют с точкой нулевого потенциала антенны, нижний конец — с заземлителем.



СПУТНИКОВОЕ ТЕЛЕВИЗИОННОЕ ВЕЩАНИЕ

РАЗДЕЛ 5

Содержание

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В спутниковом телевидении (СТВ) можно принимать сигналы со спутников, относящихся к фиксированной (ФСС) и радиовещательной (РВСС) службам. В данном разделе будут рассматриваться лишь РВСС, для которых регламентом радиосвязи в зависимости от географического района выделены для направления спутник — Земля следующие полосы частот: 620...790 МГц для системы, работающей со спутником «Экран», и 11,7...12,5 ГГц для районов, включающих Европу, Африку, азиатскую часть бывшего СССР и Монголию. (Помимо указанных участков частот для коллективного приема сигналов СТВ в Индии используют частоты в полосе 2500...2690 МГц. В этой же полосе частот предполагается передавать программы СТВ отечественных спутников, рассчитанных на прием радиолюбителями стран независимых государств (СНГ) по системе SECAM.)

Следует отметить, что СТВ в настоящее время (и в ближайшем будущем) может работать только со спутниками, находящимися на геостационарной круговой орбите, которая, как известно, расположена в плоскости экватора, а спутники удалены от Земли на расстояние около 36 тыс. км. Геостационарный спутник, выведенный в направлении вращения Земли, как бы неподвижно висит над определенной точкой экватора Земли — подспутниковой точкой C′ (рис. 5.1). На рисунке З — Земля; СП — Северный Полюс.

Такое стационарное положение спутника относительно земных станций позволяет резко упростить антенные устройства, исключив системы слежения за спутником, и обеспечивает практически стабильный уровень сигнала, что для радиолюбителя является очень важным фактором, облегчающим усилия по созданию установки для индивидуального (коллективного) приема

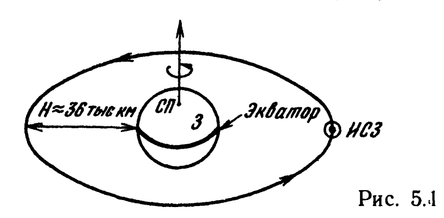


Рис. 5.1

сигналов со спутника. Зона радиовидимости геостационарного спутника составляет около трети поверхности Земли, за исключением районов, примыкающих к северному и южному географическим полюсам. В зависимости от разности долгот подспутниковой точки λ_0 и места расположения земной станции (ЗС) λ предельная широта, на которой могут приниматься сигналы со спутника при углах места не менее 5°, составляет 70...80°. Поэтому, приступая к созданию приемной установки, каждый радиолюбитель должен четко представлять себе возможность приема спутниковых телевизионных программ в соответствии с географическим районом расположения своей станции, а также возможность обработки этих сигналов с помощью своего телевизионного приемника с учетом различия телевизионных стандартов.

Ниже будут даны краткие сведения по энергетическим характеристикам ССС (систем спутниковой связи), а также телевизионным стандартам, используемым в различных странах мира для наземного ТВ вещания при передаче цветных изображений. Приведено описание отдельных узлов приемной установки. Эти же стандарты используются в СТВ при передаче телевизионных программ в аналоговой форме.

5.2. СТАНДАРТЫ НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ

Для черно-белого телевидения в разных странах мира используют десять стандартов, различающихся числом строк (625 или 525), частотой полей (50 или 60 Гц), частотой строк (15625 или 15750 Гц), полосой частот видеоканала и радиоканала (включая сигналы звукового сопровождения), видом модуляции несущей звука (ЧМ или АМ), разносом несущих частот видео- и звукового сигналов и некоторыми другими несущественными характеристиками, как, например, в негативном или позитивном изображении передается видеосигнал.

По способу передачи сигналов цветности различают три системы совместимого с черно-белым изображением цветного телевидения: SECAM, NTSC и PAL. (Система SECAM разработана совместно французскими и советскими специалистами и применяется во Франции, странах СНГ, Восточной Европы и Азии.

Система PAL широко применяется в странах Центральной и Западной Европы, а также в КНР, КНДР и в некоторых странах азиатского континента.

Система NTSC распространена в странах американского континента и в Японии.)

Как известно, в системе SECAM каждый из двух цветоразностных сигналов модулирует по частоте цветовую поднесущую в смежных строках. Частоты поднесущих при отсутствии модуляции составляют 4,4065 и 4,25 МГц, девиация поднесущей ±250 и ±230 кГц соответственно.

В NTSC цветоразностные сигналы передаются методом квадратурной фазовой модуляции на поднесущей частоте $f_п = 3{,}579545$ МГц, соответствующей половинному значению 455-й гармоники строчной частоты, т. е. $f_п = 455 f_{стр}/2$.

В системе PAL сигналы цветности так же, как и в системе NTSC, передаются с помощью квадратурной фазовой модуляции, однако фаза поднесущей одного из модулированных сигналов поочередно от строки к строке изменяется на 180°. Частота поднесущей в зависимости от принятой разновидности стандарта может изменяться от 3,5756 до 4,4336 МГц.

В последние годы в разных странах мира ведутся интенсивные исследования возможностей передачи телевизионных сигналов в цифровом виде. Как известно, цифровые сигналы обладают большей помехозащищенностью от гладких шумов и менее чувствительны к неравномерности амплитудной и нелинейной фазовой характеристик приемопередающего тракта. Однако цифровые сигналы требуют значительного расширения полосы приема, что практически нереально для СТВ, для которого отводится полоса частот 27 МГц.

С учетом сказанного специалистами Великобритании разработан и предложен для реализации в первом поколении систем СТВ комбинированный цифро-аналоговый метод передачи (стандарт MAC[1]), при котором сигналы яркости и цветности сжимаются во времени и передаются поочередно на периоде активной части строки. Сжатие аналогового сигнала производится стробированием с некоторой тактовой частотой, накоплением их в буферной памяти, ускоренным считыванием с новой, более высокой, тактовой частотой и обратным преобразованием в аналоговую форму. Сигналы звукового сопровождения, данных и синхронизации передаются в предложенной системе в цифровом виде, при этом применяется помехозащищенное кодирование и защита программы от телевизионного «пиратства».

Сигналы системы MAC в меньшей степени подвержены перекрестным искажениям яркостных и цветовых компонент и менее чувствительны к шумовой помехе, особенно сигналы цветности.

В настоящее время предложено и реализовано шесть модификаций системы MAC применительно к разным стандартам видеосигнала (625 или 525 строк), отличающихся тактовыми частотами, числом тактовых интервалов, структурой уплотнения, опорными сигналами, параметрами преобразования сигналов яркости и цветности, а также методами кодирования и параметрами модуляции звука.

Принципиальной особенностью системы MAC является возможность передачи данных при пакетном или непрерывном методе передачи.

Объединение цифровых потоков видеосигнала, нескольких каналов звука (от 4 до 8), телетекстовой информации производится пакетным методом, для чего в начале каждой строки передается кодовое слово. Кадровая синхронизация и сведения о методе засекречивания, числе звуковых каналов вводятся в последнюю строку.

---

[1] MAC — Multiplexing Analogue Components (уплотнение аналоговых компонент)

Видеосигналы передаются в 24...310 и 336...622 строках (в стандарте 625 строк). В остальные строки может быть введена телетекстовая информация.

В связи с широким распространением в Западной Европе, на американском континенте и других развитых странах систем кабельного телевидения была предложена разновидность стандарта MAC — стандарт D2-MAC/packet, который предназначен для передачи по существующей широкополосной сети кабельного телевидения. Передачи СТВ в стандарте D2-MAC ведутся во Франции и Германии через вещательные спутники TV-SAT и TDF. В Англии принят стандарт D-MAC. В скандинавских странах (Швеция, Норвегия) ведутся экспериментальные передачи в стандарте С-MAC через европейские спутники.

Предполагается, что стандарты семейства MAC могут оказаться переходными для внедрения телевидения высокой четкости (ТВВЧ).

5.3. ОРБИТЫ СПУТНИКОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СТВ, И ВОЗМОЖНОСТИ ОРИЕНТАЦИИ АНТЕНН

Геостационарный спутник имеет наибольший охват по дальности на долготе, совпадающей с долготой его подспутниковой точки (при углах места 5° — до 80° северной и южной широты) и по мере удаления от этой точки видимость по широте уменьшается до 70°.

Направление луча антенны земной станции определяется азимутом, отсчитываемым от направления на север по часовой стрелке, и углом места или углом возвышения. Зависимости углов места β и азимута α от широты φ и долготы точки на земной поверхности приведены на рис. 5.2, где долгота определяется как разность долгот ЗС λ и подспутниковой точки λ_0. Следует

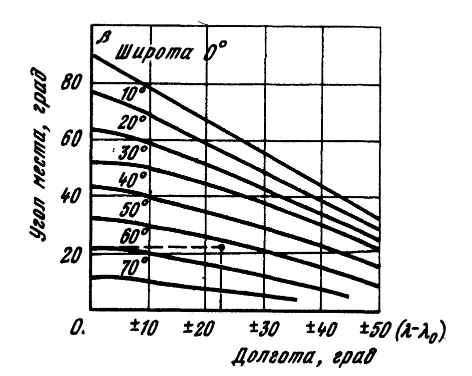


Рис. 5.2

помнить, что при определении долготы с помощью компаса необходимо вводить поправку, связанную с магнитным склонением. Более точное положение антенны определяется при настройке индивидуальной установки по максимальному значению сигнала.

Место установки антенны должно быть согласовано с местными службами, отвечающими за выполнение строительных норм и условий безопасности: это в первую очередь домоуправление и органы архитектурного надзора. В крупных городах установка антенн на больших домах возможна лишь для коллективных станций.

В табл. 5.1 приведены технические параметры некоторых спутниковых телевизионных программ, принимаемых на территории стран СНГ, позволяющие конструктору индивидуальной установки настроить ее на прием сигналов определенного спутника или группы спутников.

Спутники серии ECS (European Communication Satellite — европейский спутник связи) многофункциональные, т. е. наряду с передачей

Таблица 5.1. **Технические параметры сигналов приимаемых в странах СНГ спутниковых ТВ программ**

Наименование	Частота, МГц	Поляризация	ЭИИМ, дБВт	Язык	Стандарт изображения	Частота поднесущей, МГц	Время вещания, часов в сутки	Примечание (доступ)
INTELSATV, 66° в. д.	11 470	Г	43	Англ.	NTSC	6,8	24	
INTELSAT-VB, 60° в. д.	11 495	В	43	»	B-MAC	—	24	
INTELSAT-VB, 60° в. д.	11 600	Г	40	Нем.	PAL	6,65	18	
ASTRA 1A, 19,2° в. д.	11 214	Г	52	Англ./нем.	PAL	6,50/7,02	18	
APABSAT1, 19° в. д.	2560,5	В или	41	—	PAL			
	2634,5	Г			SECAM	6,60	—	
ECS-4, 13° в. д.	10 987	В	45	Нем.	PAL	6,50	2	
	11 091	В	45	»	PAL	6,65	6...7	
	11 140	В	45	Англ. Гол.	PAL	6,60	24	Платный
ECS-2, 7° в. д.	11 593	Г	45	Англ.	SECAM	6,60	4	

Примечания: 1. Поляризация: В — вертикальная; Г — горизонтальная.

2. В графе «Примечание», если доступ не указан, то это значит, что ограничений по приему программ нет. В ряде спутниковых ретрансляторов (например, ECS-4) предусматривается платный доступ к приему программы, при которой радиолюбитель должен приобрести соответствующий декодер.

телефонии, данных, телеконференц-связи используются на условиях аренды для передачи ТВ программ и могут работать в трех узких лучах — атлантическом, западном и восточном. На территории стран СНГ наиболее благоприятные условия создаются для приёма сигналов СТВ в восточном луче, который охватывает всю европейскую часть этих стран, Урал и север Западной Сибири. Зоны обслуживания западного и восточного лучей ИСЗ INTELSAT-VB в точке 60° в. д. охватывают юго-западную часть европейской территории стран СНГ.

Общеевропейский спутник ASTRA 1A, разработка и запуск которого финансировался частными и государственными банками ряда европейских стран, для СТВ занимает полосу 11,2... ...11,45 ГГц. Зоны его обслуживания охватывают почти всю Западную Европу, обеспечивая в центре зоны ЭИИМ 51...52 дБВт. По данным измерений, плотность потока мощности от него во Львове составляет — 119 дБВт, в Минске — 122 дБВт, в Москве — 126 дБВт [1].

5.4. РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАНОВКИ СТВ

Расчет уровня сигнала

Ослабление сигнала на линии радиосвязи спутник — ЗС условно можно разделить на две составляющие: ослабление в свободном пространстве; ослабление за счет прохождения радиоволн в тропосфере.

Потери сигнала при распространении в свободном пространстве зависят от длины волны и протяженности радиолинии и могут быть рассчитаны при изотропных (ненаправленных) антеннах по формуле

$$A_{св}=(4\pi L/\lambda)^2, \qquad (5.1)$$

где L — длина пути радиосигнала от спутника до антенны ЗС; λ — длина волны.

Соотношение (5.1) можно выразить в децибелах: $a_{св}=10\lg A_{св}=22+20\lg(L/\lambda)$, при этом L и λ надо обязательно брать в одинаковых единицах (километрах, метрах, сантиметрах).

Мощность сигнала, дБВт, на входе приемника ЗС $P_{пр}$ с учетом антенн

$$P_{пр}=10\lg P_п+g_п+g_{пр}-b_п-b_{пр}-a_{св},$$

где $P_п$ — мощность передатчика, Вт; $b_п$ и $b_{пр}$ — затухание сигнала в фидерах передатчика спутника и приемника ЗС, дБ; $g_п$ и $g_{пр}$ — коэффициенты усиления антенн спутника и приемника ЗС соответственно.

Максимальным расстояние между спутником и ЗС (L_{max}) для геостационарной орбиты будет при угле места $\beta=0$ и составит около 42 тыс. км:

$$L_{max}=\sqrt{H(2R_з+H)},$$

где $R_з$ — средний радиус Земли 6400 км; H — высота спутника над экватором ($H\approx 36$ тыс км).

Обычно технические параметры спутников для расчетов не используются, а в справочной литературе публикуются данные об эквивалентной изотропно излучаемой мощности (ЭИИМ): ЭИИМ$=P'_пG_п$, Вт, или $10\lg P'_пG_п$, дБВт (где $P'_п$ — мощность, подводимая к антенне спутника с усилением $G_п$).

Коэффициент усиления в направлении главного луча диаграммы направленности (ДН) антенны при известном диаметре основного зеркала (рефлектора) антенны

$$G=\frac{4\pi S}{\lambda^2}K_{ип},$$

где S — геометрическая площадь раскрыва антенны (апертура); $K_{ип}$ — коэффициент использования поверхности антенны (для расчетов принимают $K_{ип}=0{,}5...0{,}7$).

Принято считать, что минимальное значение угла места ЗС в пределах всей зоны обслуживания спутника при приеме на частотах 4 ГГц должно быть 5...7°, а при использовании частот выше 10 ГГц — не менее 10°.

При известных координатах ЗС по рис. 5.2 можно приближенно определить угол возвышения антенны при ориентировке ее на соответствующий спутник.

Пример

Координаты подспутниковой точки для Eutelsat-ECS-F	0° ш., 16° в. д.
Координаты Москвы . .	56° с. ш., 38° в. д.
Долгота Москвы относительно подспутниковой точки	$\lvert\lambda-\lambda_0\rvert=38-16=22°$
Угол места антенны, расположенной в Москве и направленной на спутник ECS-F1 (по графику) . .	$\beta=22°$

Для геостационарного спутника изменение L от минимального (около 36 тыс. км) до максимального (около 42 тыс. км) увеличивает затухание всего на 1,3 дБ. В связи с этим наклонную дальность можно считать постоянной и равной 40 тыс. км.

Вторая составляющая потерь сигнала в тропосфере является случайной, так как зависит не только от длины пути в этой среде и угла места, но и от поглощения сигнала в осадках. Чем выше частота связи, тем больше потери в осадках при заданной их интенсивности, которая, в свою очередь, является случайной. Строго говоря, потери сигнала имеют место во всей атмосфере (в том числе и в ионосфере), однако уровень этих потерь в ионосфере существенно ниже и можно их не учитывать при ориентировочных расчетах.

В тропосфере основные потери вызываются кислородом O_2, водяными парами H_2O и осадками в виде дождя, снега, гололеда.

Эквивалентная толщина атмосферы оценивается для кислорода $h_{O_2}\approx 5{,}3$ км, для водяного пара $h_{H_2O}=2{,}1$ км.

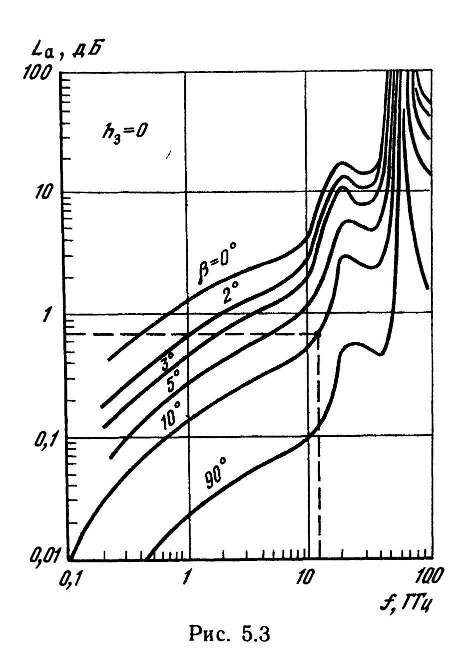


Рис. 5.3

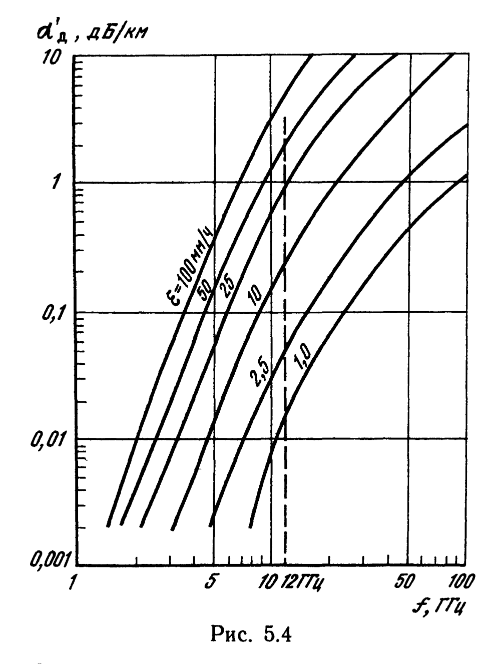


Рис. 5.4

Длина пути сигнала в атмосфере зависит от эквивалентной толщины h, влияющей на поглощение, и угла места β:

в кислороде

$$l_{O_2} = (h_{O_2} - h_з) \operatorname{cosec} \beta,$$

в водяных парах

$$l_{H_2O} = (h_{H_2O} - h_з) \operatorname{cosec} \beta,$$

где $h_з$ — высота ЗС над уровнем моря.

На рис. 5.3 приведена зависимость поглощения радиоволны в спокойной атмосфере (без дождя) от частоты сигнала при различных углах места β. Потери такого рода присутствуют всегда. На частотах 11...12 ГГц при минимальных углах они составляют около 0,7 дБ, однако на частоте 20 ГГц превышают 3 дБ, что приводит к заметному ослаблению сигнала.

Затухание в гидрометеорах зависит от интенсивности дождей, размеров зоны их выпадения и распределения интенсивности по зоне. Наибольшее ослабление вызывается дождями, мокрым снегом, меньшее — градом, сухим снегом.

Усредненные и рекомендованные Международным консультативным комитетом по радио (МККР) значения коэффициента поглощения в дожде $\alpha'_д$ при различной интенсивности ε, мм/ч, приведены на рис. 5.4.

Длина пути сигнала в дожде $l_д = (h_д - h_з) \times \operatorname{cosec} \beta$, где $h_д$ — усредненная эквивалентная толщина дождевой зоны, которую можно принять равной 2 км. Общее поглощение в дожде $L_д = l_д \alpha'_д$, дБ.

Условная карта районирования территории стран СНГ по интенсивности дождей приведена на рис. 5.5, на рис. 5.6 и 5.7 даны статистические распределения среднеминутных значений интенсивности дождей в различных климатических

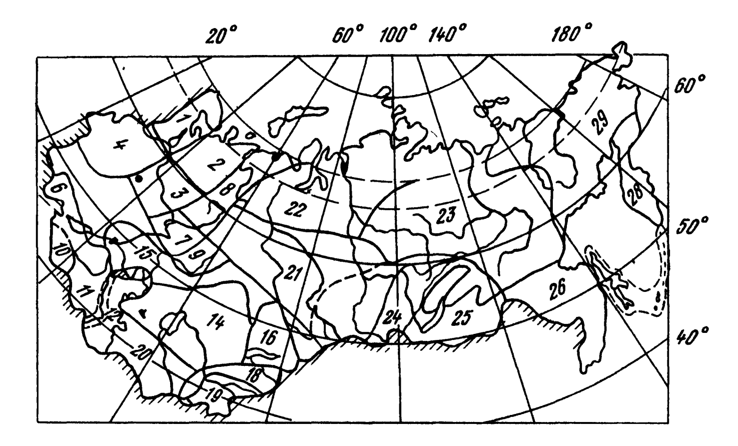


Рис. 5 5

Интенсивность дождей, мм/ч

200 180 160 140 120 100 80 60 40 20

19 16 17 21 18 15 20

0,0001 2 3 4 5 6 8 0,001 2 3 4 5 6 8 0,01 2 3 4 5 6 8 0,1 2 3 4 6 8 1,0

$T_д$, %

а)

Интенсивность дождей, мм/ч

200 180 160 140 120 100 80 60 40 20

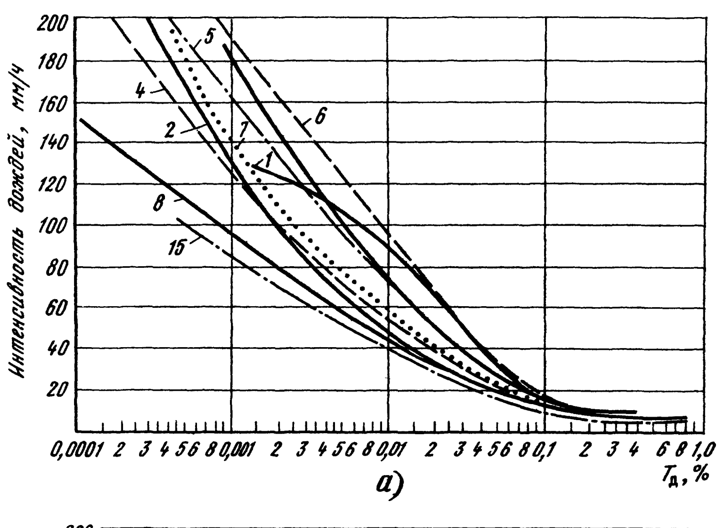
22 24 26 23 27 28 25 30 29

0,0001 2 3 4 5 6 8 0,001 2 3 4 5 6 8 0,01 2 3 4 5 6 8 0,1 2 3 4 6 8 1,0

$T_д$, %

б)

Рис. 5.6



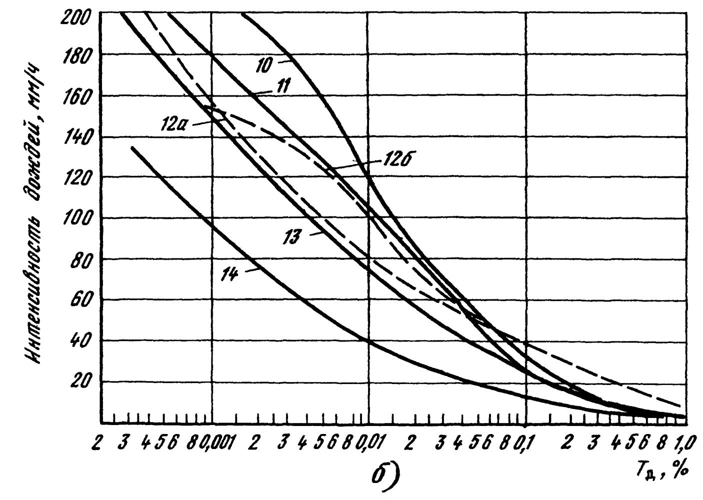


Рис. 5.7

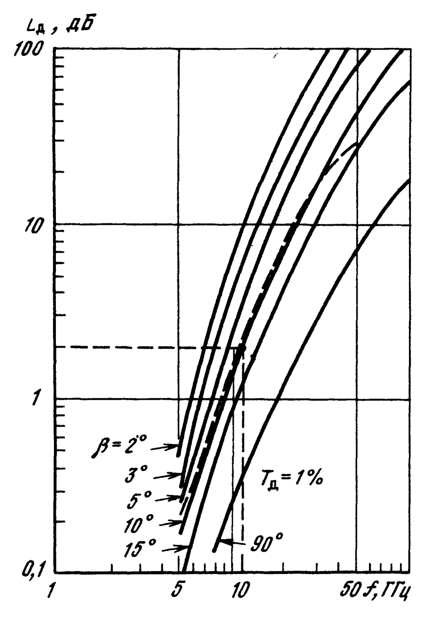


Рис. 5.8

районах: Средняя Азия и Казахстан (рис. 5.6, а), Сибирь и Дальний Восток (рис. 5.6, б), Европейская территория стран СНГ (рис. 5.7, а), и Кавказ (рис. 5.7, б).

Данные по коэффициентам поглощения для европейских климатических районов стран СНГ (районы 1—5) при вероятности дождей $T_д=1$; 0,1 и 0,01 % приведены на рис. 5.8—5.10 в виде

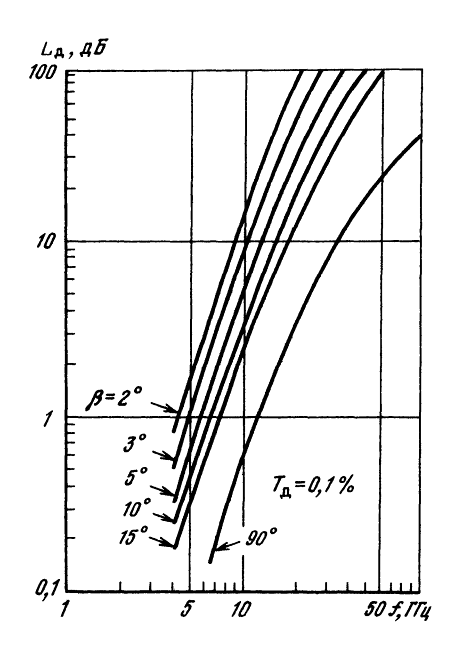


Рис. 5.9

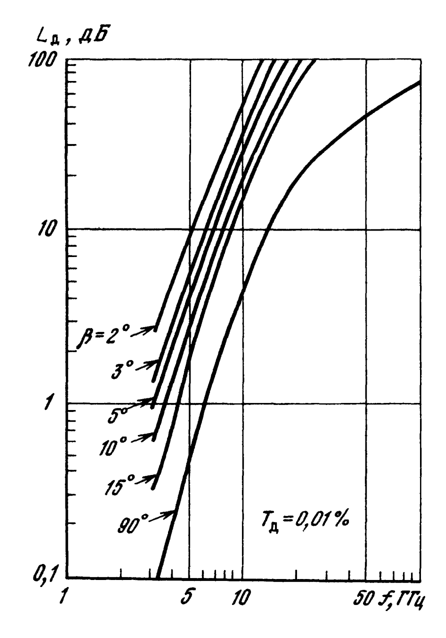


Рис. 5.10

зависимости затухания в дожде ($\alpha_д$, дБ) от частоты f и угла места β антенны ЗС.

Поглощение в тумане, как правило, на порядок меньше и при ориентировочных расчетах может не учитываться. Мокрый снег в виде крупных хлопьев, выпадающих на антенну, может вызвать поглощение в четыре — шесть раз большее, чем при дожде, однако вероятность такого явления невелика.

Для коллективных станций, имеющих диаметр антенны 2,5...3 м, применяемых для СТВ, следует учитывать явление атмосферной рефракции, заключающееся в искривлении траектории радиолуча при прохождении его через тропосферу и ионосферу. На частотах 11...12 ГГц рефракция в тропосфере становится соизмеримой с шириной главного лепестка диаграммы направленности (ДН) антенны на уровне половинной мощности ($\Delta\varphi_{0,5}$) и может достигать при углах места 10° 5...6 мин.

В соответствии с приближенной формулой для $D_A=2{,}5$ м $\Delta\varphi_{0,5}=70\lambda/D$ град, $\Delta\varphi_{0,5}=0{,}07$ град$=4{,}2$ мин.

При этом определяющее значение имеет рефракция в тропосфере.

При настройке антенн на соответствующие спутники следует иметь в виду возможные потери из-за несогласованности поляризаций антенн. Напомним, что сигналы, излучаемые со спутников, могут иметь круговую поляризацию (правого и левого вращения) и линейную. При приеме сигналов с круговой поляризацией на антенну с линейной поляризацией эти потери могут достигать 2...2,5 дБ, в то время как при согласовании поляризаций антенн потери, как правило, не превышают 0,2...0,3 дБ. Для передачи сигналов СТВ на частотах более 10 ГГц в настоящее время чаще всего применяют линейную поляризацию — горизонтальную или вертикальную.

Расчет шумов приемной установки

Для качественного приема сигналов СТВ необходимо на входе приемника получить отношение сигнал-шум не менее 12 дБ, поэтому, не имея возможности использовать антенну более 1,5...2 м, следует стремиться обеспечить суммарный коэффициент шума приемной установки возможно меньшим.

В суммарную мощность шумов, пересчитанную ко входу приемника, входят следующие составляющие:

собственные шумы приемника, мощность которых пропорциональна эквивалентной шумовой полосе до демодулятора,

шумы антенны, наводимые в ней «горячими» Землей и атмосферой, Солнцем, наиболее мощными звездами и некоторыми планетами солнечной системы;

шумы антенно-фидерного тракта.

Шумовые свойства приемных устройств земных станций чаще всего принято оценивать эквивалентной шумовой температурой $T_э$, которая пересчитывается через коэффициент шума по формуле

$$T_э=(n_ш-1)T_0,$$

где $n_ш$ — коэффициент шума, единиц или $10 \lg n_ш$, дБ; T_0 — абсолютная температура среды, окружающей приемник, К. Обычно принято считать $T_0=290$ К.

Суммарная эквивалентная температура приемной установки ЗС, состоящей из антенны, фидерного тракта и самого приемника, приведенная ко входу,

$$T_{\Sigma ЗС}=T_A\eta_ф+T_0(1-\eta_ф)+T_{пр},$$

где T_A — эквивалентная шумовая температура антенны, К; $T_{пр}$ — эквивалентная шумовая температура приемника, определяемая его собственными шумами; $\eta_ф$ — коэффициент передачи или к. п. д. фидерного тракта.

Эквивалентная шумовая температура антенны определяется следующими составляющими:

$$T_A=T_к+T_а+T_з+T_п+T_{об},$$

где $T_к$ — шумы космического происхождения (распределенные галактические шумы, шумы некоторых звезд — Кассиопеи-А, Лебедь-А, шумы Солнца, Луны и некоторых планет Солнечной системы); $T_а$ — излучение атмосферы с учетом гидрометеоров (дождей); $T_з$ — излучение земной поверхности, принимаемое боковыми лепестками ДН антенны; $T_п$ — собственные шумы антенны за счет потерь энергии в ее элементах; $T_{об}$ — шумы за счет обтекателя антенны, защищающего от атмосферных осадков.

Обычно в приемных установках СТВ обтекатели не используют, поэтому $T_{об}=0$.

Потери в зеркальных металлических антеннах сравнительно невелики, а $T_п$ не превышает долей градусов Кельвина, поэтому можно принять $T_п\approx 0$ К.

Составляющие шума $T_к$ и $T_а$ зависят от угла места антенны ЗС и от частоты связи: на частотах выше 6 ГГц составляющей $T_к$ можно пренебречь,

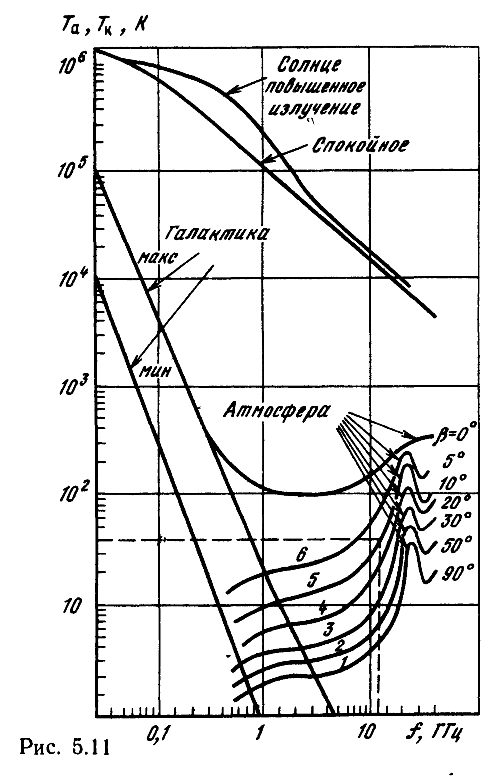


Рис. 5.11

в то время как шумы Солнца могут на несколько порядков превышать средний уровень атмосферных помех. Поэтому если антенна ЗС будет ориентирована на Солнце (при совпадении линии связи через спутник с направлением на Солнце), то прием сигналов будет невозможен. В профессиональных системах связи при автоматическом наведении антенн такие направления обычно исключаются.

Шумы, вносимые спокойной атмосферой, можно для заданной частоты связи определить по кривым 1—6 (рис. 5.11).

Шумовое радиоизлучение земной атмосферы имеет тепловой характер и статистически связано с поглощением сигналов в атмосфере, а закономерность их излучения такая же: чем выше частота связи и длина пути сигнала в тропосфере при заданной интенсивности дождя, тем большая доля шумов вносится атмосферой.

На рис. 5.12 приведены кривые шумовой температуры атмосферы для вероятности выпадения дождя $T_д=0,1$ и 1 % (чем больше интенсивность дождя, тем меньше вероятность его наблюдения). Из рис. 5.12 видно, что при частоте f=12 ГГц, угле места $\beta=10°$ и вероятности дождя $T_д=1$ % шумовая температура атмосферы будет около 120 К.

Излучение «горячей» Земли воспринимается антенной ЗС боковыми лепестками и вычисляется с учетом коэффициента S=0,2...0,3, зависящего от конструкции и качества выполнения антенны.

Таким образом, шумы антенны ЗС будут $T_{A\,ЗС}=T_а+sT_0$.

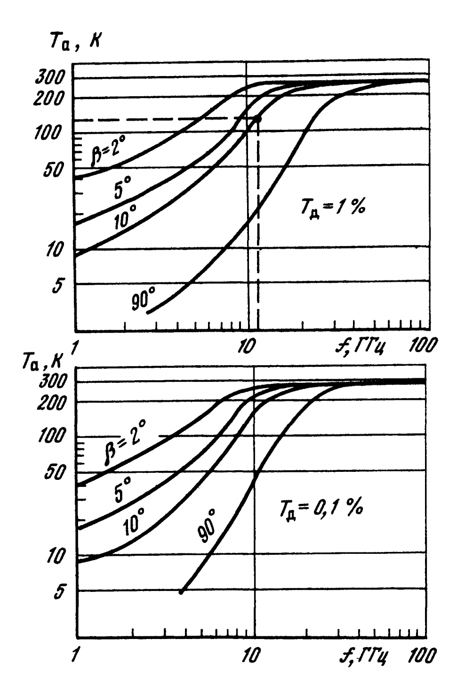


Рис. 5.12

Мощность шумов, пересчитанная по входу приемника,

$$P_{ш\Sigma}=kT_{\Sigma\,ЗС}П_ш,$$

где $k=1{,}38\cdot10^{-23}$ Вт/Гц·К — постоянная Больцмана; $T_{\Sigma\,ЗС}$ — суммарная шумовая температура приемной установки, К; $П_ш$ — шумовая полоса приемника, Гц, для СТВ $П_ш=27$ МГц. Суммарную мощность шумов можно выразить и через децибелы:

$$p_{ш\,\Sigma}=-228{,}3+10\lg T_{\Sigma\,ЗС}+10\lg П_ш,\ дБВт.$$

Для уверенного приема необходимо, чтобы отношение сигнал-шум $[10\lg(P_c/P_ш)]$ было не менее 12 дБ. В приведенных выше соотношениях предполагается, что приемная антенна ЗС точно наведена на спутник.

Из предыдущего ясно, что необходимое отношение сигнал-шум можно получить, добившись минимальной шумовой температуры приемника ЗС. Это достигается применением малошумящих усилителей на входе приемника, конструктивно совмещенных с облучателем антенны.

5.5. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРИЕМНЫХ ЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ СТВ

Приемные устройства для приема сигналов СТВ могут быть коллективными и индивидуальными. В первом случае они проектируются с таким расчетом, чтобы обеспечить прием сигналов со спутников для достаточно большой группы пользователей — многоквартирный дом, небольшой поселок и т. д. Распределение программы в пределах дома и даже поселка производится по кабелю.

Технические требования к такой приемной установке по чувствительности приемника, коэффициенту усиления антенн и другим параметрам более высокие, например размеры параболических антенн могут достигать 2,5...4 м. Кроме того, в коллективных станциях обычно предусматривается одновременный прием сигналов двух ортогональных поляризаций (две программы). В этом случае между антенной и фидером включаются поляризатор, разделяющий сигналы по поляризации, и два конвертора на разные программы.

В состав оборудования для коллективного приема входят также широкополосные делители мощности для подключения канальных блоков и устройства для реализации распределительной сети. Более детальное описание установки для коллективного приема можно найти в [1, 2].

При проектировании индивидуальной установки можно ограничиться антеннами с параболическим рефлектором диаметром от 0,7 до 1,5 м. При этом очевидно, что чем больше диаметр отражателя антенны, тем более высокое качество сигнала можно получить и обеспечить прием сигналов при максимальной наклонной дальности до 40 тыс. км.

Структурная схема приемной установки приведена на рис. 5.13 и функционально разделяется на два блока — наружный, расположенный вблизи антенны, и внутренний, размещенный в помещении.

В свою очередь, наружный блок включает следующие элементы: малошумящий усилитель (МШУ), преобразователь частоты вниз, предварительный усилитель первой промежуточной частоты (УПЧ1) и гетеродин G1. Выбор значения первой ПЧ определяется конкретными условиями — наличием комплектующих элементов или узлов для создания УПЧ1, имеющимся типом кабеля, которым сигнал первой ПЧ подается на внутренний блок, необходимостью эффективного подавления зеркального канала и некоторыми другими факторамн.

Для индивидуальных приемных установок применяются по крайней мере три варианта построения структурных схем.

Первый вариант включает два преобразования частоты: в наружном блоке сигнал из полосы частот 12 ГГц преобразуется в полосу 0,95...1,75 ГГц, усиливается в УПЧ1 и далее коаксиальным кабелем подается во внутренний блок, где с помощью второго преобразователя сигнал СТВ преобразуется во вторую промежуточную частоту, выбираемую в пределах 480.. 612 МГц. Дальнейшая обработка сигнала происходит на этой частоте.

Второй вариант структурной схемы отличается выбором более низких значений второй ПЧ — в пределах 70...230 МГц.

И, наконец, в третьей разновидности схем сигнал второй ПЧ транспонируется в третью ПЧ, которая выбирается в пределах 35...70 МГц.

Первая схема в настоящее время имеет широкое распространение в серийно выпускаемых за рубежом приемных установках, причем в большинстве европейских стран значение второй ПЧ равно 480 МГц, в США — 612 МГц

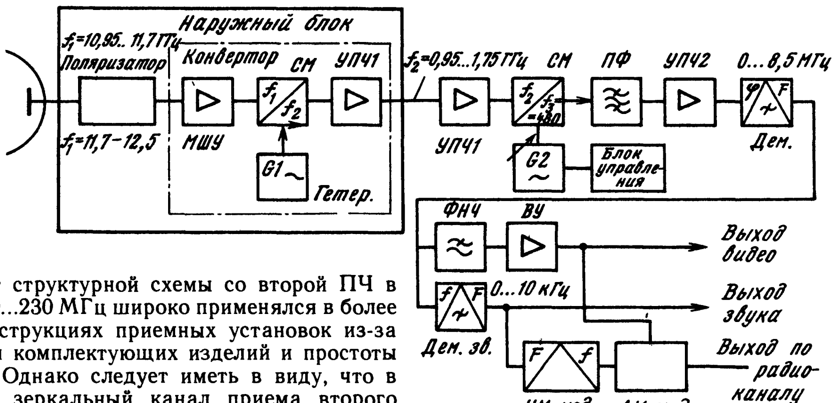


Рис. 5.13

Вариант структурной схемы со второй ПЧ в пределах 70...230 МГц широко применялся в более ранних конструкциях приемных установок из-за доступности комплектующих изделий и простоты настройки. Однако следует иметь в виду, что в этой схеме зеркальный канал приема второго преобразователя оказывается в полосе первой ПЧ и для подавления его необходимо применять перестраиваемый фильтр на входе внутреннего блока.

В схеме с тремя преобразованиями частоты, когда третья ПЧ выбирается в пределах 35... 70 МГц, имеется возможность использовать принципиальные схемы и модули, применяемые в радиорелейном оборудовании наземных сетей связи и земных станциях ССС фиксированных служб.

Общим принципом для рассмотренных трех вариантов структурных схем является разделение их на два блока — наружный и внутренний, соединенных между собой коаксиальным кабелем длиной до 40 м.

Наиболее сложным для реализации в радиолюбительских конструкциях является наружный блок, так как он должен надежно работать в широком интервале температур (от —40 до +50 °С), быть хорошо защищен от воздействия гидрометеоров и дистанционно управляться при выборе поляризации сигнала, а также обеспечивать автоматическую или ручную ориентацию антенны на любой из спутников, находящихся в зоне радиовидимости данной ЗС.

В соответствии со структурной схемой (рис. 5.13) сигнал, принятый антенной ЗС в полосе частот 10,95...11,7 или 11,7...12,5 ГГц, проходит через блок выбора поляризации и далее поступает в конвертор, состоящий из малошумящего усилителя, фильтра, первого преобразователя частоты и усилителя первой промежуточной частоты (УПЧ1).

Далее сигнал первой ПЧ в полосе 0,95... 1,75 ГГц подается на вход внутреннего блока.

Во внутреннем блоке сигнал дополнительно усиливается на частоте первой ПЧ и преобразуется во вторую ПЧ, усиливается на ней и демодулируется. На выходе частотного демодулятора выделяется видеосигнал и частотно-модулированный сигнал звукового сопровождения. Последний подается на частотный демодулятор звука. Сигналы с выходов демодуляторов видео и звука могут быть поданы на видеомагнитофон или специальные входы телевизора (где они имеются), а также на вход модуляторов ЧМ и АМ сигналов для формирования программы в полосе 1 ..12 каналов наземного телевизионного вещания.

При передаче аналоговых сигналов по спутниковому каналу с целью повышения помехозащищенности и выполнения требований электромагнитной совместимости (ЭМС) на входе частотного модулятора вводятся предыскажения и сигналы дисперсии.

В приемной установке восстановление предыскажений и подавление сигналов дисперсии происходят после частотного демодулятора.

Канал звукового сопровождения в зависимости от телевизионного стандарта и принадлежности спутника формируется на поднесущей частоте, которая может изменяться в пределах 5,5...8 МГц. В этой связи в тракте звукового сопровождения должна предусматриваться возможность настройки на соответствующую поднесущую звука, а частотный демодулятор звука должен обеспечивать неискаженное детектирование ЧМ сигналов при изменении девиации частоты поднесущей в пределах 50...150 кГц.

Выбор необходимой программы производится с помощью блока управления, который перестраивает второй гетеродин на частоту принимаемого сигнала.

5.6. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИЕМНОЙ УСТАНОВКИ СТВ

Антенна и поворотное устройство

Оборудование индивидуальной приемной установки представлено на рис. 5.14. В его состав входят: рефлектор 1; конструкция для крепления облучателя 2; облучатель 3; поворотная конструкция для подвески 4; опорная конструкция 5; приводной механизм для дистанционного управления положением рефлектора 6; переключаемый механический поляризатор 7; малошумящий конвертор 8; позиционер 9; спутниковый приемник 10; телевизор 11; соединительный высокочастотный кабель 12; кабель для пода-

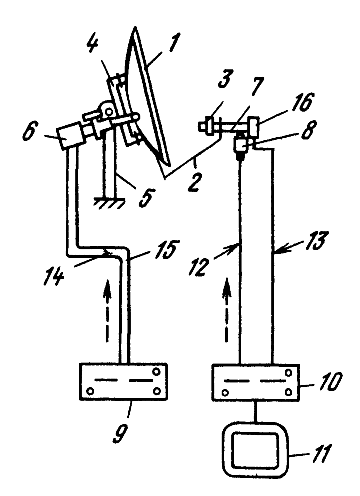


Рис. 5.14

чи управляющих сигналов на привод поляризатора 13; кабель подачи сигналов управления приводом антенны 14; кабель 15, соединяющий позиционер с датчиком угла поворота антенны; привод поляризатора 16.

Антенна является наиболее сложным элементом приемной установки СТВ и от качества изготовлеиия зависят ее технические характеристики — коэффициент усиления, уровень боковых лепестков, определяющие качество принимаемого сигнала. По-видимому, не у каждого радиолюбителя есть условия и возможности качественно выполнить работу по изготовлению рефлектора, контррефлектора и других элементов конструкции антенны и опорно-поворотных устройств. Некоторые рекомендации по их выполнению в радиолюбительских условиях приведены в журналах «Радио», 1990 г. № 11, 12 и 1991 г. № 1.

В зависимости от географического размещения индивидуальной приемной установки диаметр рефлектора антенны может быть 0,6...1,2 м. Требуемую позицию луча антенны, соответствующую положению спутника на ГО, можно выбрать с помощью позиционера — специального устройства, находящегося в помещении и запоминающего до 30 позиций спутников. Для точной подстройки антенны по максимуму сигнала предусматриваются механические приспособления типа тальрепов, позволяющие поворачивать рефлектор по азимутальным и угломестным осям. Величину углов места и азимута необходимо заранее вычислить для места расположения приемной установки.

Наибольшее распространение имеют однозеркальные осесимметричные антенны, позволяющие получить достаточно низкий уровень боковых лепестков диаграммы направленности, хорошее согласование с фидером и шумовую температуру ие выше 80 К при углах места более 10°. При диаметре более 1,5 м у осесимметричных антенн рефлектор выполняется разборным.

Переход от приема сигналов с вертикальной поляризацией к горизонтальной производится поляризаторами механического или магнитного типа.

В настоящее время более широкое распространение получили механические поляризаторы, в которых выбор поляризации достигается поворотом электрического вибратора, расположенного в отрезке волновода. При дистанционном управлении это реализуется с помощью шагового двигателя, редуктора и датчика угла поворота.

В магнитных поляризаторах поворот плоскости поляризации достигается за счет изменения тока в катушке, намотанной вокруг ферритового стержня. При распространении волны вдоль намагниченного феррита направление ее поляризации изменяется на угол, зависящий от длины стержня и тока в катушке.

При тщательной настройке оба типа поляризаторов позволяют получить развязку до 25... 28 дБ, затухание, вносимое поляризаторами, не превышает 0,2...0,4 дБ в полосе частот 10,7... 12,7 ГГц. Очевидны преимущества магнитного поляризатора в надежности из-за отсутствия двигателя и других элементов управления, однако они пока в 4...5 раз дороже.

Ведутся работы по создаиию поляризаторов, обеспечивающих прием сигналов с линейной и круговой поляризацией.

Малошумящий конвертор

Малошумящий конвертор размещается в наружном блоке приемной установки и включает (см. рис. 5.13) МШУ, смеситель, гетеродин и УПЧ сигналов первой промежуточной частоты. Основной функцией МШУ является уменьшение влияния шумов внутреннего блока и компенсация потерь в соединительном кабеле. В зависимости от качества изготовления кабеля РК-75-4-113 погонное затухание на рабочих частотах может быть от 0,1 до 0,3 дБ/м. Это значит, что при максимальной длине кабеля 40 м потери в нем могут быть от 4 до 12 дБ. МШУ содержит 3...4 каскада и обеспечивает суммарный коэффициент усиления порядка 25...30 дБ.

Наиболее широко распространенной является схема МШУ, выполненная на арсенид-галлиевых полевых транзисторах типа АП324 или АП326. Схема одного каскада на таком транзисторе изображена на рис. 5.15.

Увеличение числа каскадов в МШУ более четырех может усложнить его настройку из-за большой вероятности возникновения самовозбуждения в усилителе.

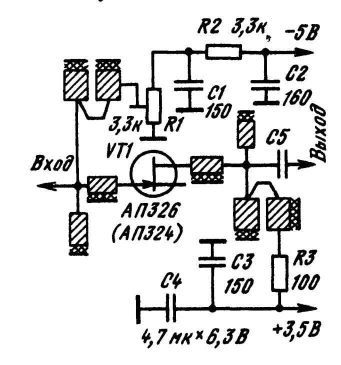


Рис. 5.15

Лучшие образцы арсенид-галлиевых полевых транзисторов могут обеспечить коэффициент усиления на частоте 12 ГГц не более 10 дБ и коэффициент шума около 2,5 дБ. Дальнейшее улучшение параметров МШУ на их основе практически невозможно.

Некоторые зарубежные фирмы освоили для СВЧ диапазона выпуск принципиально новых усилительных элементов — так называемых полевых транзисторов с высокой подвижностью электронов (ТВПЭ—НЕМТ). В таких транзисторах на частотах 11...12 ГГц в усилителях можно получить коэффициент шума, не превышающий 1 дБ.

Активные элементы могут применяться в виде отдельных кристаллов (чипов) и в корпусном исполнении. В последнем варианте существенно упрощается технология изготовления, отсутствует необходимость в герметизации, поэтому в радиолюбительских условиях такие конструкции МШУ имеют более широкое применение.

Смеситель может быть выполнен на полупроводниковых диодах или на арсенид-галлиевых транзисторах. В случае применения диодов смеситель собирают по балансной схеме, которая позволяет снижать собственные шумы смесителя, однако при этом необходимо тщательно подбирать диоды по параметрам.

На рис. 5.16 приведена схема смесителя, выполненная на арсенид-галлиевом полевом транзисторе по схеме с общим истоком. Входной сигнал и сигнал гетеродина подаются на затвор транзистора CFY-19, а сигнал промежуточной частоты снимается со стока. В цепи затвора установлен шлейф длиной λ/4 для подавления сигналов комбинационных частот. В цепи стока имеется шлейф длиной 3λ/4, блокирующий входной сигнал и сигнал гетеродина на входе следующего каскада. На промежуточных частотах шлейф действует как конденсатор, образуя вместе с фильтром нижних частот согласующую цепь для снижения выходного импеданса смесителя.

Гетеродин выполнен на полевом транзисторе типа CFY-19, охваченном внешней цепью обратной связи от стока к затвору. Резонансный контур, настроенный на частоту гетеродина, образован шлейфом в цепи затвора длиной 3λ/4 и собственными реактивными элементами транзистора. Шлейфы в цепи стока обеспечивают постоянный импеданс в широком диапазоне частот и таким образом предотвращают возникновение паразитных колебаний побочных частот. Напряжение электропитания подводится через дроссель и блокируется конденсатором.

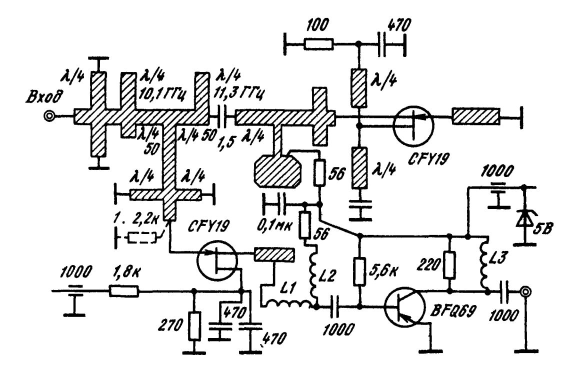


Рис. 5.16

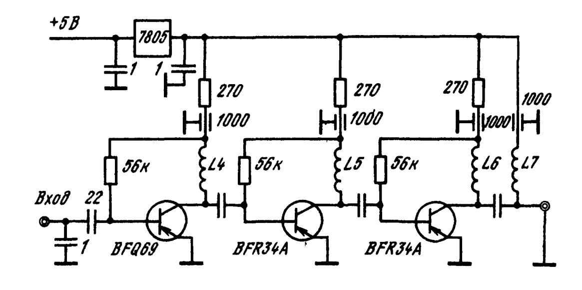


Рис. 5.17.

Предварительный каскад усилителя первой ПЧ (ПУПЧ) выполнен на биполярном транзисторе BFQ69 и смонтирован на плате смесителя. Напряжение электропитания подается на смеситель и ПУПЧ через дроссели L2 и L3.

Схема усилителя первой ПЧ (рис. 5.17) реализована на трех каскадах с использованием биполярных кремниевых транзисторов. Согласующие цепи между каскадами, образованные индуктивностями L4—L6 и собственными реактивностями транзисторов, имеют емкостный импеданс небольшой величины и обеспечивают требуемую амплитудно-частотную характеристику УПЧ с усилением около 25 дБ в центре полосы и с завалом на 5 дБ на границах полосы.

Напряжение электропитания +12 В подается к УПЧ по центральной жиле коаксиального кабеля внутреннего блока через дроссель L7 и проходной конденсатор. Напряжение +5 В для каскадов, работающих на арсенид-галлиевых полевых транзисторах, обеспечивает стабилизатор напряжения, вход и выход которого блокируются конденсаторами большой емкости (1 мкФ).

Стабилизатор напряжения вместе с проходными конденсаторами монтируется на непротравленной печатной плате, которая является для него также охлаждающим радиатором. Для исключения дрейфа напряжения +5 В и возникающего при этом изменения частоты гетеродина стабилизатор должен быть рассчитан на ток не менее 1 А.

Приемник спутникового телевидения (внутренний блок)

Приемник спутникового телевизионного вещания или тюнер, на вход которого поступает сигнал первой ПЧ от наружного блока, предназначен для преобразования ЧМ сигнала в стандартный АМ сигнал, принимаемый телевизорами зрителей. Кроме того, в тюнере производится выбор программы для пользователя, передаваемой в диапазоне входных частот приемной установки (см. табл. 5.1).

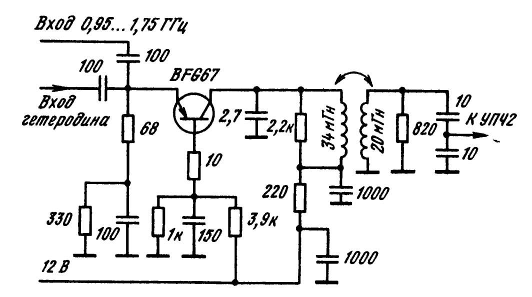


Рис. 5.18

Входной усилитель УПЧ1 тюнера работает в полосе 0,95...1,75 ГГц, предназначен для предварительного усиления сигнала ПЧ1, а также для ослабления излучения второго гетеродина.

Смеситель может быть выполнен на диодах, на биполярных транзисторах или полевом двухзатворном транзисторе. Для радиолюбительских условий следует рекомендовать использование транзисторного смесителя, так как он обеспечивает больший коэффициент преобразования по сравнению с диодным, лучшее согласование с последующими каскадами и вполне удовлетворительное подавление интермодуляционных составляющих.

На рис. 5.18 приведена схема транзисторного смесителя, примененная в тюнере фирмы PHILIPS. Смеситель выполнен по схеме с общей базой на транзисторе BFG67, обеспечивает коэффициент передачи 5 дБ и равномерную амплитудно-частотную характеристику. Выходной сигнал ПЧ2 со средней частотой около 480 МГц поступает на вход полосового фильтра.

Наиболее сложным в реализации является второй гетеродин, так как он должен перестраиваться в полосе примерно 800 МГц: при $f_{ПЧ2}=480$ МГц частота гетеродина $f_{Г2}=(950...1750)+480=1430...2230$ МГц. В настоящее время большее распространение получили синтезаторы частот, управляемые микропроцессором, либо транзисторные автогенераторы, частота в которых изменяется с помощью варикапов.

На рис. 5.19 приведена принципиальная схема автогенератора на транзисторе BFR92A, включенного по схеме с общей базой. Частота гетеродина изменяется с помощью варикапа BBY39, подключенного к базе транзистора. Индуктивность L3, образующая вместе с емкостью варикапа резонансный контур, выполнена по микрополосковой технологии. Компенсация температурной нестабильности частоты гетеродина обеспечивается включением опорного кремниевого диода 1N414B в цепь подачи управляющего напряжения на варикап. Частота гетеродина изменяется в пределах 1430...2230 МГц. Поскольку отечественные варикапы не обладают достаточно высокой добротностью, из-за значительных паразитных реактивных элементов корпуса, возможно, возникнет необходимость общую полосу перекрытия по частоте 800 МГц разделить на два участка, используя два автогенератора.

Полосовой фильтр ПФ (см. рис. 5.13) обеспечивает подавление помех по соседнему каналу. В зарубежных приемных установках широко используют фильтры с поверхностными акустическими волнами, обеспечивающими высокую избирательность и линейную фазочастотную характеристику, однако такие фильтры вносят значительные потери (до 20 дБ). С учетом высокой стоимости и больших потерь в фильтрах на поверхностных акустических волнах можно рекомендовать для использования фильтры на отрезках четвертьволновых линий с воздушным заполнением. Такие фильтры имеют небольшие габариты, низкую стоимость, обеспечивают возможность изменения ширины полосы пропускания и с учетом индивидуальной подстройки вполне доступны радиолюбителю.

В соответствии со структурной схемой (рис. 5.13) тракт второй ПЧ является самостоятельным функциональным узлом и кроме основной функции выполняет автоматическую регулировку уровня сигнала для компенсации дополнительных потерь за счет воздействия гидрометеоров. Диапазон работы схемы АРУ должен быть примерно 25...30 дБ. С выхода УПЧ2 сигнал поступает на частотный демодулятор.

В современных тюнерах, выпускаемых зарубежными фирмами, УПЧ2 совмещен со входной частью частотного демодулятора. Наиболее распространенными вариантами последних являются схемы синхронно-фазовых детекторов (СФД). В частности, фирмой PHILIPS разработан модуль демодулятора, включающий УПЧ2, схему АРУ и порогопонижающий фазовый детектор, обеспечивающий крутизну 0,45 В/рад.

Достоинствами схем синхронно-фазовых детекторов являются: высокая линейность и равномерность АЧХ выходного видеосигнала в широкой полосе частот, требуемый уровень выходного сигнала и простота настройки.

С выхода демодулятора сложный сигнал, состоящий из видеосигнала и поднесущей звука, проходит через восстанавливающий контур и фильтры нижних частот (для видеосигнала) и верхних частот (для сигнала звукового сопровождения).

В настоящее время наблюдается тенденция дальнейшей интеграции элементов тракта второй

Рис. 5.19

ПЧ и демодулятора, а именно: в состав модуля включают УПЧ2, смеситель, второй гетеродин в виде синтезатора частоты, микрополосковый фильтр на частоту 480 кГц и интегральную схему ЧМ демодулятора. К сожалению, отечественная промышленность пока не освоила производство и выпуск подобных схем.

Выходной сигнал общего демодулятора включает видеосигнал в полосе 0...6 МГц и ЧМ сигнал звукового сопровождения на поднесущих частотах в полосе 4,5...8,5 МГц, значение которых зависит от стандарта передаваемого сигнала (NTSC; PAL; SECAM) и от числа каналов звука. Видеотракт включает фильтр нижних частот и видеоусилитель.

Видеоусилитель (ВУ) обеспечивает на выходе стандартный уровень сигнала 1 В и с учетом коэффициента передачи восстанавливающего контура должен иметь усиление 30...40 дБ. В видеоусилителе предусматривается возможность переключения поляриости видеосигнала. Здесь же происходит устранеиие сигналов дисперсии. Выход видеоусилителя может быть подключен к входу стандартного модулятора, формирующего АМ сигнал в одном из телевизионных каналов метрового и дециметрового диапазонов, и одновременно к видеомагнитофону.

При формировании каналов звукового сопровождения для приема ТВ сигналов с различными стандартами приходится учитывать разброс параметров поднесущих частот, девиации частоты и соответственно разные значения полос пропускания приемного тракта.

С целью создания универсального тракта звукового сопровождения в настоящее время в зарубежных приемных установках применяют преобразование вверх на частоту 10,7 МГц, при этом гетеродин преобразователя может перестраиваться в полосе 16...20 МГц.

Продетектированный сигнал далее проходит через восстанавливающий контур и после усиления поступает либо на вход частотного модулятора, либо на вход «звук» видеомагнитофона. Выходы частотного и амплитудного модуляторов звука и видео объединяются в сумматоре, формируя полный телевизионный сигнал в одном из телевизионных каналов наземного телевизионного вещания.

Установка с тремя преобразованиями частоты

В приемной установке с тремя преобразованиями частоты схема наружного блока полностью совпадает с описанной ранее. Во внутреннем блоке второе преобразование переносит сигналы первой ПЧ из полосы 0,95...1,75 ГГц на частоту 450 МГц, при этом частота второго гетеродина должна перестраиваться в полосе 1,43...2,23 ГГц.

При третьем преобразовании частоты сигнал переносится из полосы 450 МГц в полосу 70 МГц. Средняя частота 70 МГц принята в качестве стандартной в аналоговом радиорелейном оборудовании диапазонов частот 2, 4, 6 и 8 ГГц и аппаратуре земных станций «Орбита».

На рис. 5.20 приведены структурная и принципиальная схемы линейного частотного детектора (ЛЧД) на частоте 70 МГц и видеоусилителя. Структурная схема включает: амплитудный ограничитель (АО), преобразователь ЧМ сигнала в АМ сигнал, огибающая которого повто-

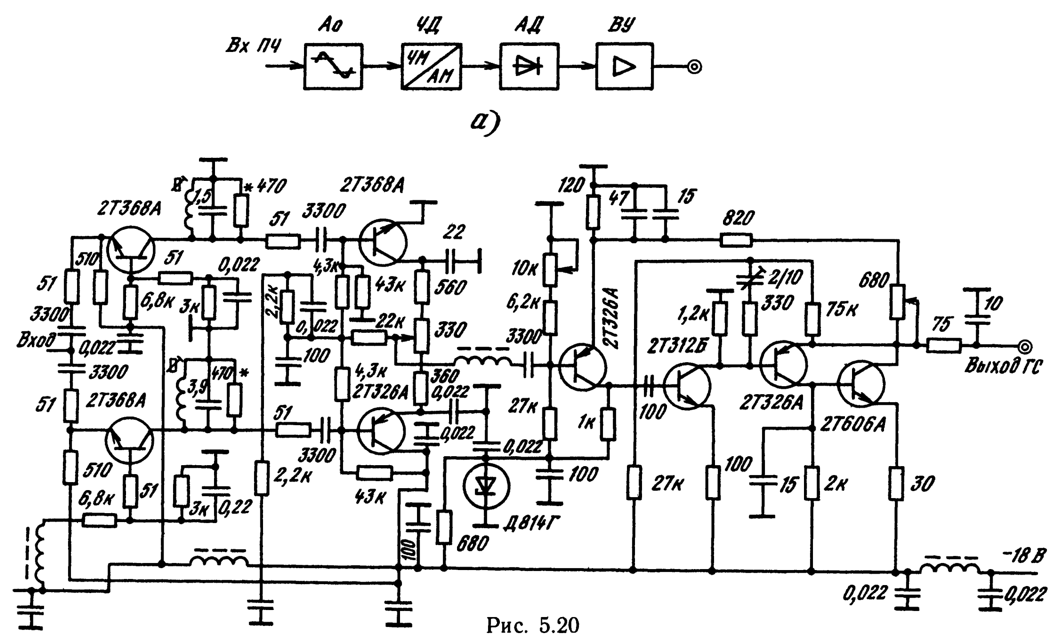


Рис. 5.20

Таблица 5.2. **Основные технические параметры приемных установок для приема сигналов СТВ, выпускаемых совместными и отечественными предприятиями**

Назначение системы	Наименование параметра системы	Значение параметра	Краткая характеристика системы
	ИНТЕСС (ОКБ МЭИ и МКБ «Радуга»)		
Прием телевизионных программ с геостационарных спутников-ретрансляторов	Диапазон частот, ГГц	10,9...11,7 11,7...12,75	Возможен прием сигналов с вертикальной (ВП) и горизонтальной (ГП) поляризациями. Автоматическая ориентация антенн на любой из 16 выбранных спутников. Длина кабеля между наружным и внутренним блоками до 40 м. Система обеспечивает сопряжение с любыми телевизионными приемниками
	Усиление антенн, дБ:		
	Д=0,7 м	37	
	Д=1,6 м	44,5	
	Коэффициент шума, дБ	1,2...1,5	
	Выходной уровень видео, В	1,0±0,2	
	Полоса частот звукового тракта, Гц	40...15 000	
	Напряжение питания, В	220	
	Масса, кг:		
	тюнера	3,85	
	позиционера	2	
	КРОСНА (НПК «Кросна»)		
Прием ТВ программ с геостационарных спутниковых ретрансляторов индивидуальными и коллективными пользователями, а также пользователями кабельной сети	Диапазон частот, ГГц:		ПУСТ-1 обеспечивает прием восьми программ, а ПУСТ-1А — шестнадцати. Система совместима со всеми отечественными и зарубежными телевизорами и магнитофонами, работающими в стандарте PAL и SEKAM. Тюнер обеспечивает переключение на одну из 8 (ПУСТ-1) или 16 (ПУСТ-1А) программ; автоматическую и ручную настройку на частоту принимаемой программы; автоматическую подачу на вход сигналов местного вещания при отключении питания тюнера; изготавливается заводом «Кросна»
	ПУСТ[1]-1	10,9...11,7	
	ПУСТ-1А	10,9...11,7	
	Усиление антенн, дБ:		
	Д=1,5 м	42,5	
	Д=2 м	45	
	Коэффициент шума, дБ	~1	
	Выходной уровень видео, В	1±0,2	
	Полоса частот звукового тракта, Гц	40...15 000	
	Напряжение питания, В	220	
	Масса тюнера, кг	~4	
	Фирма «Телесет-сервис»		
Индивидуальный прием программ СТВ (от 3 до 40 программ), транслируемых спутниками европейских и азиатских стран на английском, немецком, французском, испанском, греческом, итальянском и др. языках	Диапазон частот, ГГц	10,9...11,7	Производство тюнеров BEST, MASPRO, NIKKO, UNIDEN, WINERSAT импортное. Производство конверторов (LNB) — импортное: Япония, Южная Корея
	Усиление антенн, дБ		
	Д=1,5 м	43	
	Д=1,8 м	45	
	Д=2,4 м	47	
	Коэффициент шума, дБ	0,9...1,2	
	Выходной уровень видео, В	1±0,2	

[1] ПУСТ — приемная установка спутникового телевидения.

ряет закон изменения частоты входного сигнала, амплитудный детектор (АД) и видеоусилитель (ВУ).

Амплитудный ограничитель (на принципиальной схеме не показан) обычно выполняется на диодах по двухкаскадной схеме: в первом каскаде диоды включаются параллельно, а во втором последовательно. Встречное включение диодов обеспечивает ограничение положительной и отрицательной полуволн, между каскадами включается согласующий трансформатор.

Дискриминатор блока частотного детектора выполнен на транзисторах 2Т368А, в цепь коллектора которых включены взаиморасстроенные контуры: контур в верхнем транзисторе настроен на частоту около 100 МГц, а в нижнем — на частоту 50 МГц.

Требуемая линейность характеристики ЛЧД достигается подбором резонансной частоты контуров и шунтирующих контуры резисторов. С целью повышения устойчивости работы дискриминатора в цепь базы включены резисторы (51 Ом).

Амплитудные детекторы выполнены на транзисторах 2Т368А (верхний) и 2Т326А (нижний) по схеме с общим коллектором. Транзисторы работают в режиме В и включены последовательно по току, что обеспечивает несиммет-

ричный выход на последующие каскады видеоусилителя.

Видеоусилитель обеспечивает на выходе блока ЧД требуемую крутизну характеристики демодулятора 175 мВ/МГц.

Схема видеоусилителя содержит четыре каскада, выполненных на кремниевых транзисторах: первый и третий каскады работают на транзисторах 2Т326А, второй — на транзисторе 2Т312Б и четвертый — на транзисторе 2Т606А.

В первом и втором каскадах применена схема с общим эмиттером, а для стабилизации коэффициента усиления с учетом разброса параметров транзисторов используется обратная связь по току.

Два последних каскада ВУ охвачены глубокой обратной связью, что позволяет обеспечить малые нелинейные искажения. Весь видеоусилитель охвачен обратной связью по переменному току (резистор переменный 680 Ом и резистор постоянный 820 Ом). Выходное сопротивление ВУ равно 75 Ом.

В табл. 5.2 приведены основные технические параметры и краткие характеристики приемных установок, разработанных советскими специалистами: система ИНТЕСС (ОКБ МЭИ и МКБ «Радуга»), система КРОСНА (НПК «Кросна») и система фирмы ТЕЛЕСЕТ-СЕРВИС. Упомянутые установки конкурентоспособны на мировом рынке и рынке стран СНГ.

5.7. МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРИЕМНЫХ УСТАНОВОК СПУТНИКОВОГО ТЕЛЕВЕЩАНИЯ

Установка и ориентирование антенны является наиболее ответственной и сложной операцией развертывания приемной станции.

По способу наведения антенн на спутник различают схемы:

с азимутально-угломестной подвеской, с осями X и Z, при которой первичной («неподвижной» в пространстве) является вертикальная ось Z (азимутальная). Антенна поворачивается по азимуту относительно первичной оси, а по углу места относительно вторичной (X);

с подвеской по двум горизонтальным осям X и Y, одна из которых является неподвижной, а вторая подвижной;

с полярной подвеской, в которых вращение происходит относительно полярной оси, параллельной оси вращения Земли.

Для коллективных установок диаметром до 2,5...3 м, расположенных на территории стран СНГ, может быть рекомендована первая схема, обеспечивающая высокую точность наведения на спутник, сравнимую с точностью его удержания на орбите (±0,1°).

Для индивидуальных установок с диаметром антенн до 1,5 м наиболее распространенной является полярная подвеска с ориентировкой оси вращения антенны в направлении на Полярную Звезду (направление север—юг).

Место для установки антенн необходимо выбирать так, чтобы окружающее пространство по фронту антенны, а также в пределах телесного угла ±15°, отсчитываемого от направления максимального приема, было свободным от затеняющих объектов — деревьев, зданий, антенных опор и других сооружений, влияющих на диаграмму направленности антенны.

Угол места антенны ЗС по отношению к спутнику ориентировочно можно определить по графикам рис. 5.2 в зависимости от разности долгот приемной станции и подспутниковой точки. Более точный расчет производится по соотношениям

$$\alpha=\begin{cases}\pi-\arccos(\operatorname{tg}\varphi/\operatorname{tg}\psi) & \text{при } \lambda\geqslant\lambda_0,\\ \pi+\arccos(\operatorname{tg}\varphi/\operatorname{tg}\psi) & \text{при } \lambda<\lambda_0,\end{cases}$$

$$\beta=\operatorname{arctg}\frac{\cos\psi-R(H+R)}{\sin\psi},$$

где α, β — азимут и угол места соответственно; $\psi=\arccos[\cos(\lambda-\lambda_0)\cos\varphi]$, $R=6370$ км — радиус Земли; $H=35860$ км — высота геостационарной орбиты; φ — широта точки размещения ЗС.

Антенну с полярной подвеской ориентируют так, чтобы вертикальная плоскость, в которой вращается полярная ось, совпадала с направлением север—юг. Затем ориентируется ось поворота зеркала антенны на Полярную Звезду так, чтобы она составила с плоскостью горизонта угол, равный географической широте места установки ЗС. Далее регулировкой положения зеркала антенны относительно полярной оси устанавливают так называемый угол коррекции γ, который определяется по формуле

$$\gamma\approx\operatorname{arctg}(0{,}15\sin\varphi).$$

Окончательная регулировка положения зеркала антенны производится по максимальному значению уровня сигнала приемной установки.

После всех этих регулировок зеркало антенны и всю ее конструкцию прочно закрепляют.

Эксплуатация приемных установок главным образом заключается в проведении профилактических работ с наружным блоком. В осенне-зимнее время необходимо очищать рабочие поверхности антенны от снега и льда, так как слой мокрого снега или льда толщиной 10 мм может привести к заметному снижению уровня сигнала. Ржавчина на зеркале антенны также приведет к ухудшению качества изображения. Естественно, что обледенение исполнительных механизмов привода антенны может привести к нарушению их нормальной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Злотникова Е. А., Кантор Л. Я., Локшин Б. А.** Прием телевидения со спутников // Вестник связи.— 1990.— № 6.
2. **Гвозденко А. А.** Спутниковые службы непосредственного телевещания // Зарубежная радиоэлектроника.— 1992.— № 4—5.
3. **Спутниковая** связь и вещание: Справочник.— 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. Л. Я. Кантора.— М.: Радио и связь, 1988.

Содержание

Справочное издание

Массовая радиобиблиотека. Выпуск 1196

ВАРЛАМОВ РЕМ ГЕННАДЬЕВИЧ, ЗАМЯТИН ВЛАДИМИР ЯКОВЛЕВИЧ, КАПЧИНСКИЙ ЛЕВ МИХАЙЛОВИЧ и др.

СПРАВОЧНАЯ КНИГА РАДИОЛЮБИТЕЛЯ-КОНСТРУКТОРА

Книга 2

Справочное пособие

Руководитель группы МРБ И. Н. Суслова
Редакторы О. В. Воробьева, И. Н. Суслова
Художественный редактор В. И. Мусиенко
Технические редакторы Л. А. Горшкова, Т. Н. Зыкина
Корректор З. Г. Галушкина

ИБ № 2604

ЛР № 010164 от 04.01.92

Сдано в набор 20.01.93. Подписано в печать 12.11.93. Формат 70×100/16. Бумага газетная. Гарнитура таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 27,3. Усл. кр.-отт. 27,63. Уч.-изд. л. 35,07. Тираж 50 000 экз. Изд № 23770. Зак. № 222. С-099

Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

Ордена Трудового Красного Знамени Чеховский полиграфический комбинат Министерства печати и информации Российской Федерации 142300, Чехов, Московской области



Справочная книга радиолюбителя-конструктора состоит из двух книг.

•

В первой книге даны рекомендации по выбору схем, конструированию приемоусилительных устройств, телевизоров, магнитофонов, видеомагнитофонов, любительских КВ и УКВ передатчиков, рассмотрены вопросы электропитания радиоаппаратуры.

•

Во второй книге приведены справочные данные по электровакуумным и полупроводниковым приборам, интегральным схемам и другим радиокомпонентам, используемым радиолюбителями в своих конструкциях. Даны рекомендации по выбору схем, конструированию измерительных приборов и антенн, а также рассмотрены возможности приема спутникового телевидения.

•

Справочная книга предназначена для подготовленных радиолюбителей.

Издательство «Радио и связь»